

Návrh blokové transformovny pro fotovoltaickou elektrárnu

Design of a prefabricated substations for a photovoltaic power plant

Bc. Bogdan Widenka

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Diplomová práce řeší problematiku návrhu blokové transformovny pro vyvedení výkonu z fotovoltaické elektrárny.

První část představuje teoretický úvod do tematiky transformoven, transformátorů a rozvaděčů. V další části se věnuji návrhu výkonu transformátoru podle střídačů fotovoltaické elektrárny a výpočtu provozních nákladů transformátoru během 25let. Dále pokračuji návrhem rozvaděčů, kde jsem počítal zkratové proudy pro stanovení zkratové odolnosti. V rámci této kapitoly jsem také navrhl a ověřil kabely a ploché vodiče na propojení jednotlivých částí blokové transformovny. Konstrukční řešení a uzemnění jsou popsány v kapitole věnující se dispozičnímu řešení transformovny. V závěru práce se věnuji popisu projektové dokumentace, což je také stěžejním cílem mé diplomové práce.

Během tvorby diplomové práce jsem vycházel z poznatků získaných studiem a vlastní praxí v oboru.

Klíčová slova

Bloková transformovna, transformátor, rozvaděč, fotovoltaická elektrárna, kabel, zkrat, nadproud, zkratová odolnost, ochrana, jistič, odpínač, pojistka

Abstract

The dissertation deals with the design of a prefabricated transformer station for power output from a photovoltaic power plant.

The first part presents a theoretical introduction to the topic of transformer stations, transformers and switchboards. In the next part I deal with the design of the transformer power according to the inverters of the photovoltaic power plant and the calculation of the operating costs of the transformer during 25 years. I continue with the design of switchboards and calculation of short-circuit currents to determine the short-circuit resistance. In this chapter I also designed and verified cables and flat wires for the interconnection of individual parts of the block transformer station. The design solution and earthing are described in the chapter devoted to the layout of the transformer station. At the end of the thesis I describe the project documentation. It is the main goal of my thesis.

During the creation of the dissertation I based on the knowledge during my studies and experiences from my work.

Key words

Prefabricated substation, transformer, switchboard, photovoltaic power plant, cable, short circuit, overcurrent, short circuit resistance, protection, circuit breaker, switch disconnector, fuse

Obsah	
Úvod	- 10 -
1 Popis blokových transformoven	- 11 -
1.1 Konstrukce	- 11 -
1.2 Transformátor	- 14 -
1.3 VN rozvaděč	- 16 -
1.4 NN rozvaděč	- 18 -
1.5 Zkoušky	- 20 -
2 Návrh výkonového distribučního transformátoru	- 22 -
2.1 Výběr transformátoru	- 22 -
2.2 Návrh ceny transformátoru s nízkými ztrátami	- 24 -
2.3 Návrh jímky transformátoru	- 29 -
3 Návrh VN a NN rozvaděče	- 31 -
3.1 Výběr VN rozvaděče podle požadovaných parametrů	- 31 -
3.2 Konfigurace VN rozvaděče	- 35 -
3.3 Návrh rozvaděče NN	- 38 -
4 Návrh dispozičního řešení a uzemnění blokové transformovny	- 42 -
4.1 Dispoziční řešení	- 42 -
4.2 Uzemnění	- 43 -
5 Projektová dokumentace blokové transformovny	- 46 -
Závěr	- 48 -
Použitá literatura	- 49 -

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
AC	Střídavý proud (Alternating current)
AlFe	Lano pletené z hliníkových a železných drátů
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct current)
DPS	Dokumentace pro provedení stavby
DS	Distribuční soustava
DSP	Dokumentace pro stavební povolení
DSPS	Dokumentace skutečného provedení stavby
DUR	Dokumentace pro územní rozhodnutí
DVZ	Dokumentace pro výběr zhotovitele
EU	Evropská unie
HZS ČR	Hasičské záchranné službě České republiky
IAC	Třídy vnitřního zkratu
IP	Stupeň krytí
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (anglicky International Organization for Standardization)
NC	Rozpínací kontakt (Normally closed)
NN	Nízké napětí
NO	Spínací kontakt (Normally open)
PBŘ	Požárně bezpečnostní řešení
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
SF ₆	Fluorid sírový
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
A	-	Průměrné roční zatížení
B	Kč	Cena el. energie za 1 kWh
C	Kč	Nákupní cena transformátoru
c	-	Napěťový činitel
c₀	J/cm ³ /°C	Specifické teplo
d	%	Odhadovaný nárůst ceny energie za vyhodnocované období
D	m	Průměr tyčového zemniče
D_{ekv}	m	Ekvivalentní průměr obdélníkového zemniče
e	%	Míra inflace
h	-	Řád harmonické
I	A	Proud
I₂	A	Proud transformátoru na nižší straně napětí
I_h	-	Část celkové efektivní hodnoty proudu na harmonické řádu
I_k''	kA	Zkratový proud nadřazené soustavy / Maximální počáteční rázový proud při trojfázovém zkratu
I_{ke}	kA	Ekvivalentní oteplovací proud
I_{ke}	A	Ekvivalentní oteplovací proud
i_p (I_{ke})	kA	Nárazový zkratový proud
I_v	kA	Vztažný proud
k	-	Jednotlivé roky vyhodnocovaného období
k_e	-	Součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu
L	m	Délka paprsku nebo tyče
l_v	m	Délka vedení
m_o	kg	Hmotnost oleje v transformátoru
n	-	Předpokládaná délka životnosti v letech
N_p	Kč	Provozní náklady
N_T	Kč	Provozní náklady transformátoru
P_k	W	Ztráty nakrátko
P_o	W	Ztráty naprázdno
r_{1v}	-	Odpor vedení VN (poměrová)
R_E	Ω	Zemní odpor kruhového zemniče
R_{kv}	Ω	Rezistence sousledné složky vedení
R_t		Zemní odpor paprskového zemniče
S	mm ²	Průřez vodiče
S_k	MVA	Zkratový výkon soustavy při třífázovém zkratu
S_{min}	mm ²	Minimální průřez vodiče

S_T	kVA	Výkon transformátoru
S_V	MVA	Vztažný výkon
T	-	Počet provozních hodin za rok
t_k	s	Vypínací čas zkratové spouště jističe
T_s	-	Počet hodin slunečního svitu za rok
U	V	Napětí
U_2	V	Napětí transformátoru na nižší straně
u_k	%	Napětí nakrátko
U_s	kV	Sdružené napětí nadřazené soustavy
U_V	kV	Vztažné napětí
V_o	l	Objem oleje v transformátoru
x_{1S}	-	Reaktance nadřazené soustavy (poměrová)
x_{1V}	-	Reaktance vedení VN (poměrová)
X_{kv}	Ω	Reaktance sousledné složky vedení
ϑ	$^{\circ}\text{C}$	Fiktivní teplota
ϑ_1	$^{\circ}\text{C}$	Dovolená maximální provozní teplota mědi
ϑ_k	$^{\circ}\text{C}$	Dovolená maximální teplota mědi při zkratu
ρ_{20}	Wmm ² /m	Specifický odpor mědi při 20 $^{\circ}\text{C}$
ρ_E	Ωm	Rezistivita půdy
ρ_o	kg/dm ³	Typická hustota oleje
κ	-	Součinitel nárazového zkratového proudu

Seznam použitých obrázků

<i>Obr. 1.1: Olejový transformátor SGB.....</i>	<i>- 15 -</i>
<i>Obr. 1.2: VN rozvaděč Schneider RM6.....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Obr. 2.1: Doba slunečního svitu za rok.....</i>	<i>- 22 -</i>
<i>Obr. 2.2: Ochranné relé DMCR 3.0.....</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Obr. 3.1: Náhradní schéma soustavy.....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Obr. 3.2: Jednopolové schéma VN rozvaděče.....</i>	<i>- 37 -</i>
<i>Obr. 3.3: Náhradní schéma soustavy.....</i>	<i>- 38 -</i>
<i>Obr. 3.4: Kontakty ochranného relé.....</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Obr. 4.1: Detail jímky, napojení na Filtrelec F5 a uložení transformátoru.....</i>	<i>- 42 -</i>
<i>Obr. 4.2: Transformovna během instalace.....</i>	<i>- 43 -</i>

Seznam použitých tabulek

<i>Tab. 1: Podíl harmonických střídače Sungrow SG250HX.....</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Tab. 2: Typy transformátorů se ztrátami a cenou.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Tab. 3: Provozní náklady transformátorů</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Tab. 4: Provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní cenou</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Tab. 5: Napěťové činitele podle ČSN EN 60909-0 ed. 2</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Tab. 6: Normalizovaná řada zkratových odolností [17]</i>	<i>- 34 -</i>
<i>Tab. 7: Jmenovité hodnoty VN rozvaděče Schneider RM6 [19].....</i>	<i>- 36 -</i>
<i>Tab. 8: Doporučené hodnoty základního nastavení ochran rozpadového místa [20].....</i>	<i>- 37 -</i>

Úvod

Velkým úkolem lidstva je šetrné zacházení s přírodními zdroji, které máme na naší zeměkouli. Jedním z nejžhavějších témat je útlum získávání energie z fosilních paliv a přechod na obnovitelné zdroje. Nahradit výrobu elektrické energie z uhlí a plynu obnovitelnými zdroji jistě nebude lehké, ale již nyní se o to částečně snažíme mimo jiné i fotovoltaickými elektrárnami. Podstatnou částí každé elektrárny, i té fotovoltaické, je transformovna.

Řešená transformovna slouží k přesunu energie z fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě. Na nízkonapěťový rozvaděč jsou na přívody napojené střídače, které převádí stejnosměrný proud z fotovoltaických panelů na střídavý. Na vývodu nízkonapěťového rozvaděče je napojený transformátor, který mění napětí z 800V na nízkonapěťové straně na 22kV na straně vysokého napětí. Ta je napojená na vysokonapěťový rozvaděč, který zajistí ochranu transformátoru, umožní připojení na distribuční síť a případné napojení další transformovny.

V úvodní části této práce je obecný popis transformoven, jejich konstrukce, typy používaných rozvaděčů a transformátorů. Dále práce řeší návrh výkonového transformátoru, jímky pro zachycení oleje a jeho ekonomickou bilanci. V další kapitole je návrh VN a NN rozvaděče včetně návrhu zapojení, výpočtu ochrany a propojovacích vodičů. Jelikož transformovna tvoří jeden celek, je potřeba navrhnout dispoziční řešení, konstrukci a uzemnění transformovny. Toto všechno je součástí páté kapitoly. V poslední kapitole je již navržená projektová dokumentace transformovny.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a zpracovat výrobní dokumentaci transformovny pro přenos energie z fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě.

1 Popis blokových transformoven

Transformovna je elektrická stanice, která zajišťuje změnu napětí. V případě, že je vstupní napětí větší a výstupní nižší, jedná se o snižovací, a v opačném případě o zvyšovací transformovnu. S transformovny se můžeme setkat jak při výrobě elektrické energie, tak při distribuci. Ve výrobě jsou to transformovny VN/VVN u tepelných elektráren, u menších zdrojů elektrické energie i NN/VN (naš případ). Na hranicích mezi přenosovou soustavou a distribuční soustavou jsou transformovny VVN/VN a v blízkosti spotřeby potom VN/NN. Konstrukce transformoven se liší podle velikosti a použití. Největší mají stanoviště transformátoru i rozvodné zařízení v otevřeném provedení ve venkovním prostoru. Transformovny v průmyslových podnicích mohou mít rozvodné zařízení v budově a stanoviště transformátorů uvnitř i venku. Nejmenší transformovny jsou v takzvaném sloupovém provedení. Často používaným provedením především v distribuci je bloková transformovna.

Bloková transformovna je sestava transformátoru, rozvaděče vysokého napětí, rozvaděče nízkého napětí, propojovacího vedení a dalších řídicích a pomocných obvodů. Jako celek je typově zkoušená. Slouží pro dodávku elektrické energie nízkého napětí z distribuční sítě vysokého napětí nebo obráceně.

[1][2]

1.1 Konstrukce

Běžně jsou umísťovány v prostorech přístupných veřejnosti, na úrovni země nebo částečně či zcela pod úrovní země. Mohou být obsluhovány zevnitř nebo z venku.

Transformovny mají být bezpečné pro osoby provádějící obsluhu i pro veřejnost. Bezpečnost je zajištěna dodržením předepsaných charakteristických hodnot, jmenovitých hodnot, vhodným návrhem a konstrukcí krytu. Vhodnost návrhu a funkčnost je ověřována pomocí příslušných zkoušek.

Provozní podmínky, jmenovité hodnoty, všeobecné konstrukční požadavky a zkušební metody stanoví norma [1].

Konstrukce blokových transformoven musí být vždy uzpůsobena funkčním požadavkům na provoz a údržbu. Tyto požadavky musí respektovat platné právní předpisy. Konstrukce musí také zajistit bezpečnost osob a zamezit neoprávněnému přístupu do transformovny. Každá bloková transformovna musí být opatřena štítkem, ze kterého je patrný výrobce, typové označení, třída odolnosti proti vnitřnímu zkratu, výrobní číslo, rok výroby a číslo normy [1].

[1]

Stupeň ochrany krytem

Kryt blokové transformovny zajišťuje především ochranu před nebezpečným dotykem osob nebo zvířat, zamezuje vniknutí cizích částí a vody. Stupeň této ochrany vyjadřujeme takzvaným IP kódem, který se skládá z písmen IP, pak následují dvě číslice a na konci mohou být (nepovinně) dvě písmena. První číslo v IP kódu znázorňuje stupeň ochrany zařízení před vniknutím pevných těles a stupeň ochrany osob před dotykem nebezpečných částí. Druhé písmeno označuje stupeň ochrany zařízení proti vniknutí vody.

Ochrana před vniknutím cizích pevných těles:

- 0 – nechráněno
- 1 – tělesa > 50 mm
- 2 – tělesa > 12,5 mm
- 3 – tělesa > 2,5 mm
- 4 – tělesa > 1 mm
- 5 – chráněno před prachem (prach, který pronikne, ale nenaruší správnou funkci zařízení)
- 6 – prachotěsné (uvnitř žádný prach)

Ochrana před vniknutím vody:

- 0 – nechráněno
- 1 – svisle kapající
- 2 – kapající (ve sklonu 15°)
- 3 – kropení (déšť až do sklonu 60°)
- 4 – stříkající
- 5 – tryskající
- 6 – intenzivně tryskající
- 7 – ponoření dočasné (0,15 až 1 m pod hladinou – 30 minut)
- 8 – trvalé ponoření

Přídavné písmeno (A, B, C, D) – ochrana před dotykem nebezpečných částí:

- A – hřbetem ruky
- B – prstem
- C – nástrojem
- D – drátem

Doplňkové písmeno (H, M, S, W):

- H – zařízení vysokého napětí
- M – pohyb během zkoušky vodou
- S – klid během zkoušky vodou
- W – povětrnostní podmínky

Dle [3] musí mít kryt ochrany nejméně IP23 nebo vyšší. Tento kryt zajišťuje ochranu před vniknutím pevných těles o průměru 12,5mm, ochranu proti kropením vodou a ochranu před dotykem nebezpečných částí pomocí drátu.

[3][1]

Ochrana proti mechanickému namáhání

Bloková transformovna musí odolat určitému mechanickému namáhání. Důraz je kladen především na zatížení střechy, zatížení krytu větrem a vnější mechanické nárazy na kryty. Nejmenší povolené zatížení střechy je 2500N/m², u podzemních transformoven je povolené zatížení mnohem větší.

Musí také odolat mechanickým nárazům s energií 20J na každou součást krytu (stěny, dveře, větrací otvory, atd.). Tento stupeň ochrany krytem je označován jako IK10. Na extrémní nárazy, jako je dopravní nehoda, nemusí být dimenzována, avšak musí jím být v případě potřeby zabráněno dodatečnou vnější ochranou.

[1]

Ochrana před požárem

Konstrukce blokové transformovny musí být provedena tak, aby bylo minimalizované riziko požáru. Musí být zajištěna ochrana proti přetížení a přehřátí. Do blokových transformoven se běžně osazují transformátory zalité v chladicí kapalině. Tu většinou tvoří olej a ten je z pohledu požární bezpečnosti rizikový. V případě zvýšeného rizika požáru je možné použít syntetickou izolační kapalinu na bázi organických esterů (viz odstavec „ochrana životního prostředí“) nebo transformátor s vinutím zalitým litou pryskyřicí, který je z hlediska požáru bezpečný.

Nedílnou součástí dokumentace musí být v ČR také požárně bezpečnostní řešení (PBŘ). To musí být zpracované autorizovanou osobou a stanovuje způsob ochrany při šíření požáru, možnost evakuace z budovy a řeší možnost zásahu HZS ČR (Hasičské záchranné službě České republiky).

[4][5]

Vnitřní zkrat

Konstrukce blokové transformovny by měla být navržena tak, aby nevznikl vnitřní zkrat. Při správné volbě jmenovitých hodnot (vhodném naddimenzování), provedení veškerých zkoušek a kontrol a při správném provozování a údržbě, je možné vnitřní zkrat takřka vyloučit. Může však nastat mimořádná situace způsobená poruchou některé z částí blokové transformovny.

V jakých případech se provádí zkouška vnitřním obloukovým zkratem?

V případě potřeby je možné provést zkoušku vnitřním obloukovým zkratem. Na základě zkoušky je možné zařadit transformovnu do třídy IAC. Transformovna třídy IAC-A splňuje předepsaná kritéria pro obsluhu při normálních činnostech uvnitř transformovny. Třída IAC-B splňuje předepsaná kritéria pro ochranu veřejnosti v okolí transformovny. Pokud je transformovna zkoušená podle této třídy, je možné jí zpřístupnit veřejnosti ze všech stran. Třída IAC-AB splňuje kritéria pro ochranu obsluhy i veřejnosti.

[1]

Uzemnění

Všechny kovové části transformovny, které nepatří do obvodů primární nebo sekundární strany, musí být spojeny s hlavní uzemňovací soustavou. Uzemňovací soustavu musí tvořit vodič, na který je každá zmíněná kovová část připojena. Pokud je konstrukční část transformovny tvořena kovovým materiálem, může být využitý jako hlavní uzemňovací soustava.

[1]

Kryt

Kryt musí zajistit potřebný stupeň ochrany (IPxx), dostatečnou pevnost pro transport a montáž, musí zajistit bezpečnost obsluhy a potřebné chlazení blokové transformovny. Pokud je součástí krytu nevodivý materiál, musí splňovat zvláštní dielektrické požadavky, ověřené zkouškami podle [1].

Při konstrukci krytu blokové transformovny je potřeba brát zřetel také na požární bezpečnost. Kryt má být sestaven z materiálů nehořlavých (beton, kov, cihly), případně ze syntetických materiálů, které musejí být testovány podle ISO1182 a ISO1716 a splňovat požadavky podle [1].

Materiál krytu je potřeba chránit proti korozi vhodnou povrchovou úpravou.

Dveře, poklopy a větrací otvory musí mít v zavřeném stavu stejný stupeň ochrany krytím a odolnost proti mechanickému nárazu jako celý kryt. Dveře nebo kryty musí být možné otevřít bez použití nástrojů, avšak musí být uzamykatelné. Vysokonapěťové kabelové koncovky musí být přístupné, aby bylo možné provést zkoušky elektrické pevnosti izolace. V krytu musí být zajištěn prostor pro uložení příslušenství. Chodba pro obsluhu uvnitř transformovny musí být dostatečně prostorná na všechny úkony obsluhy a údržby. Chodba musí být min. 800mm široká a i při otevřených a zajištěných dveřích nesmí být užší než 500mm.

[1]

Třída krytu

Třída krytu je volena podle průměrné teploty v místě instalace. Možné zatížení transformátoru (zatěžovatel) se může měnit podle třídy krytu transformovny a podle okolní teploty. Pro jmenovitou třídu krytu transformovny je určen konkrétní přípustný zatěžovatel při okolní teplotě v místě transformovny. Je určeno šest jmenovitých tříd krytu (5, 10, 15, 20, 25, 30). Čísla odpovídají nejužší hodnotě oteplení transformátoru. Výrobce musí provést typovou zkoušku transformovny s danými větracími otvory při plném zatížení transformátoru.

[1]

1.2 Transformátor

V blokových transformovnách se využívají dva typy transformátorů. Suchý transformátor s vinutím zalitým v pryskyřici a se vzduchovým chlazením, nebo transformátor ponořený do kapaliny (dále jen olejový transformátor), kde kapalina plní funkci jak izolační, tak chladicí. Takzvané suché transformátory se používají všude tam, kde jsou vysoké požadavky na požární bezpečnost a na životní prostředí. Dalšími výhodami suchých transformátorů je jejich dlouhá životnost, minimální náklady na servis a možnost proudového přetížení. Naproti tomu olejové transformátory mají nespornou výhodu ve vysokém krytí (běžně IP54) a tedy možnosti umístění bez dalšího krytí ve venkovním prostoru. Krytí VN a NN průchodek je IP00, takže transformátor musí být umístěn v prostoru mimo dosah osob a zvířat. V našem případě má transformátor místo klasických VN průchodek konektory. NN průchodky budou zakrytované kvůli nebezpečí dotyku živých částí.

Další velkou výhodou olejových transformátorů byla vždy nižší pořizovací cena. S příchodem požadavků na snížení ztrát ecodesign, se cenový rozdíl mezi olejovými a suchými transformátory snížil, zůstal však ve prospěch olejových transformátorů. Pokud se na pořizovací cenu budeme dívat očima provozovatele, mohli bychom dojít k závěru, že celková cena během životnosti olejového transformátoru, bude vyšší než u suchého. To se může zdát vinou vyšších nákladů na údržbu a nižší životnosti olejových transformátorů. Je tu však ještě jeden výrazný rozdíl mezi olejovými a suchými transformátory, a tím jsou nižší ztráty naprázdno a nakrátko u olejových transformátorů. Tím se výhoda celkových nákladů během životnosti překlápí na stranu olejových transformátorů.

Výrobce transformátoru musí doložit soulad s normami, které pro daný transformátor platí. To se provádí vystavením takzvaného prohlášení o shodě a opatří jej označením CE. Transformátor musí být typově zkoušený podle souboru norem [6].

V našem případě je využíváný transformátor ponořený do kapaliny. Kapalina (olej) vede ztrátové teplo od jádra a vinutí k nádobě transformátoru, která je chlazená vzduchem. Pro zvětšení plochy pro přenos tepla mezi nádobou a vzduchem je nádoba žebrovaná.



Obr. 1.1: Olejový transformátor SGB

Případný únik kapaliny z transformátoru může být nebezpečný z hlediska požární bezpečnosti nebo ohrožení životního prostředí. Pro případ úniku kapalin z transformátorů je nutné v blokové transformovně instalovat záchytnou jímku (vanu). Jímka se zřizuje v případě, že transformátor má více než 1000kVA nebo více než 1000 litrů náplně. V případě, že je výkon nebo objem nižší nebo roven, nádoba je svařovaná a transformátor je jištěný proti zkratu, jímku není nutné zřizovat. Objem záchytné jímky musí být takový, aby zachytil celkový objem kapaliny z nejobjemnějšího zařízení.

Transformátory ponořené do kapaliny jsou běžně plněny neinhibovaným minerálním transformátorovým olejem, který se získává z naftenické ropy. Tento olej je hořlavý a jeho biologický rozklad je pomalý. S olejem musí počítat projektant požárně bezpečnostního řešení stavby (PBŘ). Objemem oleje v transformátoru může způsobit vysoké požární zatížení a může vzniknout požadavek na alternativní náplň transformátoru nebo použití suchého transformátoru. Podobný problém může vzniknout v případě umístění stavby s transformátorem například v blízkosti toku řeky. Jeho použití může namítnout odbor životního prostředí při povolování stavby.

Alternativní náplň pro transformátory plněné kapalinou je syntetická izolační kapalina na bázi organických esterů. Tyto kapaliny mají stejné vlastnosti i životnost jako minerální oleje. Jejich

výhodou je rychlá biologická odbouratelnost, a dále to, že se nejedná o hořlavinu. Nevýhoda těchto alternativních kapalin je jejich cena, kdy cena takto upraveného transformátoru může být vyšší než cena suchého transformátoru.

[7][4][1]

Ztráty transformátorů

Transformátor naprázdno je takový provozní stav, při kterém je na primárním vinutí připojeno jmenovité napětí a sekundární vinutí je rozpojené. V tomto stavu transformátor odebírá ze sítě určitý výkon a tomu se říká ztráty naprázdno P_0 [W]. Tyto ztráty vznikají v železném jádře a jejich velikost není závislá na zatížení transformátoru. Naproti tomu ztráty nakrátko P_k [W] vznikají ve vinutí transformátoru a jsou kvadraticky závislé na zatížení transformátoru a lineárně na odporu vinutí.

Ztráty transformátorů mohou za cca 2,5% spotřeby elektrické energie v EU. Z nařízení komise (EU) č. 548/2014 vyplývá nutnost snížení ztrát u výkonových transformátorů. Toto nařízení bylo stanoveno s ohledem na směrnici Evropského parlamentu a [8] o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie. Snížení ztrát se provádí ve dvou stupních, první od 1. července roku 2015 a druhý od 1. července roku 2021. Po těchto termínech není možné uvádět na trh transformátory, které nesplňují požadavky na ztráty. Přesné hodnoty maximálních povolených ztrát jsou v příloze č. 1 nařízení komise [9].

Stávající transformátory samozřejmě jejich majitelé nemusí nahrazovat. Provozovatel těchto transformátorů však musí platit za jejich ztrátový výkon. Jejich náhrada za nové, nízkoztrátové, je jednorázová vysoká investice. V dlouhodobém horizontu se však může vyplatit.

Nové transformátory s nízkými ztrátami podle nařízení komise [9] jsou náročnější na výrobu, tudíž dražší. Zvýšené investiční náklady se však vrátí nižšími platbami za energii vyplývanou ztrátami transformátoru.

Harmonické

Při přítomnosti harmonických složek vznikají v transformátoru ztráty především ve vinutí vinou deformací rozptylových polí a ztráty vířivými proudy. Vyšší ztráty znamenají zvětšení produkce tepla a tepelné namáhání izolace. To vede ke zkrácení životnosti transformátoru. V případě výrazného výskytu vyšších harmonických se volí speciální provedení transformátoru. Výpočet K-faktoru pro stanovení provedení transformátoru je v kapitole 2.1.

1.3 VN rozvaděč

Rozvaděče označujeme uzlová zařízení, která obsahují jistící, spínací, měřicí, řídicí a ovládací přístroje. Výrobci nabízejí typizované řady, ze kterých je možné sestavit požadovaný rozvaděč podle konkrétního určení. Jejich konstrukce musí být navržena s ohledem na vnější vlivy. Výrobce rozvaděče musí doložit soulad s normami, které pro daný rozvaděč platí. To se provádí vystavením takzvaného prohlášení o shodě a opatří jej označením CE. Rozvaděč musí být typově zkoušené podle [10].



Obr. 1.2: VN rozvaděč Schneider RM6

Rozvaděč charakterizují především jmenovité hodnoty. Při definování rozvaděče je potřeba znát jmenovité napětí, kmitočet, proud, izolační hladinu, dobu zkratu, třídu odolnosti proti vnitřnímu zkratu a výdržné proudy. Podstatná je také volba konstrukčního řešení rozvaděče. V blokových transformovnách se v současné době využívají skříňové rozvaděče, které byly vyvinuty z kobkového provedení. Ty můžeme rozdělit do dvou skupin, kompaktní a modulární. Z pohledu izolačního a zhášecího média zase můžeme rozvaděče dělit na vzduchové nebo zapouzdřené rozvaděče SF₆. VN rozvaděče jsou kovově kryté.

Konstrukce

Jsou konstruované jako samostatné plechové skříně. Každá tvoří jednu odbočku a je typizovaná podle napětí a zatížení. Z nich je možné, podle požadované konfigurace, sestavit rozvaděč jako skládačku.

Podle rozšiřitelnosti je můžeme dělit na:

- **Kompaktní** – Jsou omezené maximálním počtem skříní, zpravidla na pět skříní. Po prvotním navolení konfigurace skříní ji již nejde upravovat, a rozšiřitelnost je omezená nebo nemožná. Jsou konstruované jako hermetické. Kabelové vývody jsou realizované pomocí konektorů.
- **Modulární** – Počet skříní ani pozdější rozšiřitelnost nejsou konstrukčně omezené. Část skříně je provedena jako výsuvná. Ve výsuvné části je nejčastěji vypínač odbočky, a pro vodivé spojení se stabilní částí obsahuje šestici výsuvných kontaktů. Výsuvnou část je možné vysunout jen při vypnutém vypínači. Vysunutím vozíku (výsuvné části) je provedeno viditelné odpojení, to nahradí odpojovač.

Skříně se mezi sebou propojí průběžnými přípojnými vodiči ve vyhrazeném prostoru skříní. Napojení přívodu a vývodu rozvaděče je realizováno kabely.

- Vzduchový rozvaděč - Jeho izolačním materiálem je vzduch nebo pevné izolanty, u hermetického provedení to může být suchý vzduch s vyšším obsahem dusíku. V roli zhašecího média je vakuum.
- Zapouzdřený rozvaděč SF₆ - Z důvodů úspory místa se v současné době u blokových transformoven často používají zapouzdřené rozvaděče. U těchto rozvaděčů je v roli izolantu a zhašecího média fluorid sírový (SF₆). Tento plyn je 5x těžší než vzduch, bezbarvý, bez zápachu a nehořlavý. Není jedovatý, ale je nedýchatelný. Má vynikající izolační schopnost. Má velkou zhašecí schopnost, velkou schopnost absorbovat volné elektrony a je chemicky stabilní. Hodí se tedy jako zhašecí médium do vypínačů. Při normálním atmosférickém tlaku je jeho izolační pevnost 3x vyšší než vzduch a při tlaku 0,2MPa je srovnatelná s olejem. Běžný provozní tlak plynu je v rozmezí 0,25 – 0,45MPa při teplotě 20°C. Dostatečný tlak plynu se hlídá tlakovým spínačem, který při pokles tlaku plynu pod stanovenou mez signalizuje poruchu. Využití plynového izolantu vyžaduje plynotěsnou kovovou nádobu rozvaděče – pouzdro. Tyto nádoby jsou uzemněné, což zaručuje vysokou bezpečnost.

Podle [4] není potřeba zřizovat záchytný prostor pro SF₆ v případě, že jeho objem v zařízení nepřesáhne 1000l.

Fluorid sírový je dle nařízení evropského parlamentu a rady [11] hodnocen jako skleníkový plyn s vysokým potenciálem pro ovlivnění globálního oteplování. Tento plyn uniká z rozvaděčů nejen při jejich výrobě, ale i při provozu. I po ukončení životnosti rozvaděče je potřeba počítat s ekologickou likvidací / regenerací plynu. Z těchto důvodů se v poslední době ustupuje od rozvaděčů s SF₆ a firmy vyrábějící rozvaděče vyvíjí nové řady vzduchových rozvaděčů.

[2]

1.4 NN rozvaděč

Rozvaděče označujeme uzlová zařízení, která obsahují jistící, spínací, měřicí, řídicí a ovládací přístroje. Jejich vybavení (počet a typ přístrojů) je navrhované a konstruované pro konkrétní určení. Dle zákona je rozvaděč výrobek, který může vyrábět jen oprávněná osoba nebo organizace. Výrobce rozvaděče musí doložit soulad s normami, které pro daný rozvaděč platí, především s [12]. To se provádí vystavením takzvaného prohlášení o shodě a opatří jej označením CE. Součástí dokumentace k rozvaděči musí být také protokol o kusové zkoušce a schéma zapojení. Výrobce musí na rozvaděč umístit štítek s informacemi o výrobci, typu rozvaděče, datu výroby a normě, podle které byl rozvaděč vyrobený.

Jejich konstrukce musí být navržena s ohledem na vnější vlivy. Podle protokolu o určení vnějších vlivů můžeme stanovit potřebný stupeň krytí. Pokud je rozvaděč ve venkovním prostředí, musí mít krytí alespoň IPx3 (kropení vodou). Krytí rozvaděče s otevřenými dveřmi musí být alespoň IP2x. Pokud je možné dveře otevřít pouze nástrojem nebo klíčem, nebo k rozvaděči má přístup pouze kvalifikovaná obsluha, může mít krytí IP00. Pokud se liší vnější krytí rozvaděče a krytí rozvaděče po otevření dveří, je třeba popsat obě krytí. Krytí rozvaděče není jen jeho ochrana před vnějšími vlivy, ale také základní ochrana osob a zvířat před dotykem živých částí.

Konstrukce rozvaděče může být provedena několika způsoby. V blokových transformovnách se nejčastěji používají skříňové, v betonových pak rámové nebo panelové rozvaděče. Méně často se

můžeme setkat se stavebnicovými rozvaděči. V největších transformovnách může být pro vnitřní spotřebu využita rozvodnice.

- Skříňové rozvaděče – skládají se z jednotlivých uzavřených skříní s uzamykatelnými dveřmi. Jsou samostatně stojící. Umísťují se na podlahu jako volně stojící nebo se přistavují ke stěně. Jejich konstrukce zpravidla umožňuje spojením více skříní (polí rozvaděče) vedle sebe pro vytvoření většího celku. Vyrábí se z ocele s různými povrchovými úpravami podle určení. Mají uzamykatelné dveře, na kterých mohou být uchyceny ovládací přístroje. Ostatní přístroje jsou uvnitř skříně uchycené na montážní desce.
- Stavebnicové – Sestavují se z více skříní, které se spojují horizontálně i vertikálně do větších celků. Můžou být použity i samostatně. Jsou samonosné a vyrábí se z ocele nebo plastů.
- Rámové – nosnou konstrukcí je ocelový rám, na který se upevňují přístroje. Mají krytí IP00, takže jsou použitelné jen v uzavřených a nepřístupných místech.
- Panelové – podobně jako rámové, mají nejčastěji nosnou konstrukci z ocelových profilů. Navíc mají čelní panel, na kterém mohou být umístěné měřicí, zobrazovací a ovládací přístroje. Ostatní přístroje jsou uchycené na mezistěnách nebo na nosném rámu.
- Rozvodnice – Skříň bez vlastní nosné konstrukce. Kotví se na nosnou konstrukci, na zeď nebo se zapouští do zdi. Je určena pro menší světelné, elektroinstalační nebo motorické obvody s proudy do 100A.

Zkratovou odolnost rozvaděče určuje přístroj s nejnižším zkratovým proudem v hlavních obvodech. U rozvaděčů s většími zkratovými proudy jsou také rozhodující dynamické síly působící na přípojnice.

Pro rozvod elektrické energie v rozvaděči se používají často přípojnice zhotovené z měděného nebo hliníkového plochého vodiče. Ty jsou uchycené pomocí izolátorů k nosné konstrukci rozvaděče. Ostatní obvody v rozvaděčích bývají realizované pomocí izolovaných vodičů. Vodiče musí být dimenzovány pro maximální proud, který může v daném obvodu téct. Nulový vodič N se při průřezu fázových vodičů do 16mm² používá stejný jako fázový. Při fázovém vodiči nad 16mm² se může průřez vodiče N snížit na polovinu, pokud se nepředpokládá, že tímto vodičem tečou vysoké proudy způsobené harmonickými nebo charakterem spotřebičů.

Označení vodičů musí být dle požadavků [13].

[2][12][14]

Přepětové ochrany

U fotovoltaické elektrárny je velice důležitá ochrana proti přepětí. Střídače jsou již vybaveny přepětovými ochranami na AC i DC obvodu z výroby. V NN rozvaděči je vhodné nainstalovat přepětovou ochranu typ 1.

Ochrana proti přepětí musí být provedená podle [15].

Oteplení rozvaděče

Na každém přístroji a vodiči v rozvaděči vznikají průchodem elektrického proudu určité ztráty, které se mění na tepelnou energii. Množství tepelné energie závisí na zatížení rozvaděče. Tato tepelná energie musí být odváděna do okolí stěnami rozvaděče, větracími otvory nebo jinými

způsoby. Teplota uvnitř rozvaděče nesmí být tak vysoká, aby docházelo k urychlení stárnutí nebo degradaci jeho součástí, ohrožování okolí rozvaděče (popálení osob nebo zvířat) a nadměrnému ohřevu připojených vodičů.

To, na jakou teplotu se rozvaděč při běžném provozu oteplí, je možné prokázat výpočtem (do 1600A), zkouškou nebo konstrukčními pravidly. Lze použít jednu z těchto metod nebo kombinaci.

Ochrana

U veškerých elektrických zařízení musí být zajištěna ochrana před úrazem elektrickým proudem, která musí být sestavena ze základní ochrany a ochrany při poruše. U rozvaděčů se setkáváme s ochranným opatřením automatickým odpojením od zdroje, kde základní ochranu tvoří izolace a kryt, a ochranu při poruše zajišťuje pospojování a automatické odpojení v případě poruchy. Nezřídka bývají v rozvaděčích obvody s ochranou malým napětím nebo ochranou elektrickým oddělením.

1.5 Zkoušky

Zkoušky musí být provedeny na kompletní transformovně. Typové zkoušky se provádí na reprezentativním vzorku typové řady. Kusové zkoušky se provádějí na každé vyrobené transformovně.

Typové zkoušky

Zkouška elektrické pevnosti izolace se provádí jen na propojovacím vedení mezi součástmi transformovny tam, kde montáž může způsobit omezení pevnosti izolace. Jednotlivé části transformovny (transformátor, rozvaděče) jsou zkoušeny samostatně.

Zkouška oteplení stanoví, jak ovlivní konstrukce krytu chlazení součástí transformovny. Během zkoušky se porovnává oteplení transformátoru uvnitř transformovny s oteplením transformátoru vně. Oteplení uvnitř transformovny nesmí být větší, než je stanoveno třídou krytu (5K, 10K, 15K, 20K, 25K, 30K). V případě, že zkouška prokáže vysoké oteplení, je vhodné snížit povolené zatížení transformovny.

Zkoušky hlavních a uzemňovacích obvodů krátkodobým a dynamickým výdržným proudem prokazují kvalitu návrhu a zpracování proudovodných drah.

Zkoušky funkce prokazují způsobilost k přejímce a k provozu transformovny. Typicky se zkouší funkce spínacího a blokového zařízení, mechanickou funkčnost dveří, upevnění izolačních mezistěn, kontrolu teploty a hladiny tekutého dielektrika v transformátoru, kontrolu indikace napětí, upevnění uzemňovacích přístrojů, zkoušky kabelů, výměnu pojistek, funkci přepínače odboček transformátoru a možnost čištění mřížek větracích otvorů.

Zkoušky stupně ochrany krytem se provádí podle [3]. Mechanické zkoušky doloží odolnost vůči nárazu, mechanickému namáhání střechy a větru.

Zkoušky vnitřním obloukovým zkratem se provádí u transformoven, které jsou klasifikovány jako IAC-A, IAC-B nebo IAC-AB z hlediska ochrany osob při vzniku vnitřního obloukového zkratu.

Zkoušky elektromagnetické kompatibility se provádí podle [16][12]

Součásti, ze kterých je transformovna sestavena, musí být taktéž zkoušeny.

Kusové zkoušky

Provádí se zkouška elektrické pevnosti izolace na vedení VN mezi rozvaděčem VN a transformátorem, a zkouška výdržným napětím podle [16]. Zkouší se funkce spínacího a blokového zařízení, mechanickou funkčnost dveří, upevnění izolačních mezistěn, kontrolu teploty a hladiny tekutého dielektrika v transformátoru, kontrolu indikace napětí, upevnění uzemňovacích přístrojů, zkoušky kabelů, výměnu pojistek, funkci přepínače odboček transformátoru a možnost čištění mřížek větracích otvorů. V neposlední řadě je třeba provést porovnání zapojení se schématy zapojení v technické dokumentaci. V případě, že je transformovna částečně nebo úplně demontována pro převoz na místo určení, je po opětovné kompletaci nutné provést zkoušky funkce a kontrolu schody se schématem zapojení v dokumentaci.

[1]

2 Návrh výkonového distribučního transformátoru

2.1 Výběr transformátoru

Pro výběr transformátoru je nutné znát následující jmenovité hodnoty:

Jmenovité vstupní a výstupní napětí

Blokové transformovny jsou na straně vyššího napětí nejčastěji napojeny na distribuční soustavu (DS). V České Republice tato soustava využívá nejčastěji napěťovou hladinu 22kV, 35kV, v průmyslu 6kV a další. V našem případě je napěťová hladina 22kV. Na nižší straně napětí je nejčastěji napětí 400V, v průmyslu výjimečně 500V, u napájení měničů, řízených usměrňovačů 690V a další. V našem případě je to výstupní napětí střídače, tedy 800V.

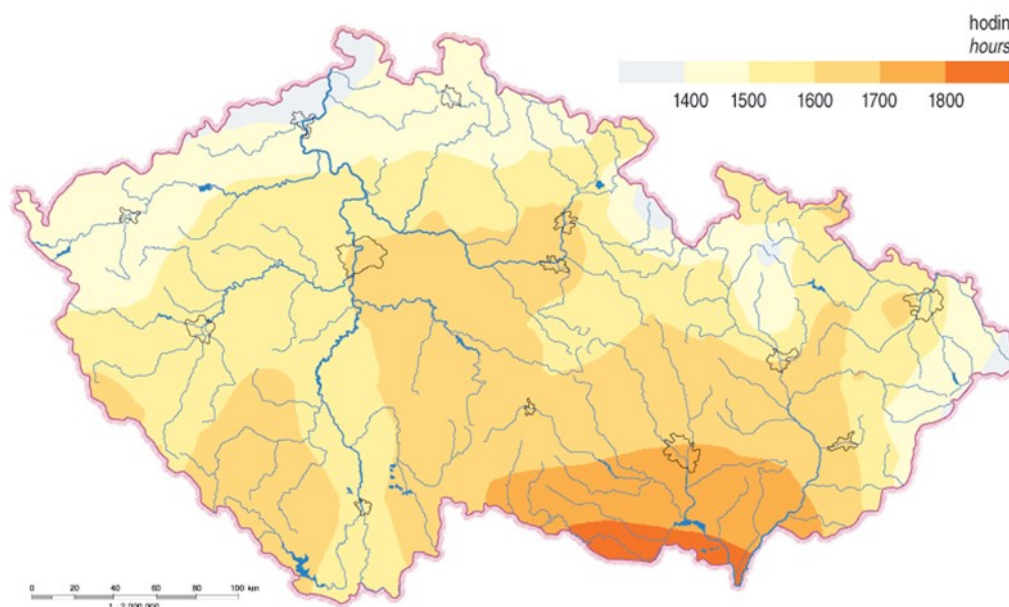
Na straně vyššího napětí má transformátor odbočky $\pm 2 \times 2,5\%$.

Jmenovitý výkon transformátoru

Volí se obvykle z řady 100, 160, 250, 400, 630, 800kVA a jejich násobků. Výrobci však vyrábí výkony i mimo tuto nejběžnější řadu.

Požadavek zákazníka pro naši transformovnu je napojení 10ks střídačů Sungrow SG250HX. Ten má výstupní výkon 250kVA, napětí 800V a maximální výstupní proud 180,5A. Běžně se distribuční transformátory dimenzují na cca 70% zatížení. Solární elektrárna produkuje plný výkon jen během letních měsíců v omezeném čase okolo poledne. Výkon závisí na úhlu dopadu a intenzitě slunečních paprsků. V případě fotovoltaických elektráren, si můžeme dovolit dimenzovat transformátor na 100% výkonu.

[17]



Obr. 2.1: Doba slunečního svitu za rok

Maximální proud z jedenácti střídačů:

$$I = 10 \cdot 180,5 = 1805 \text{ A} \quad (2.1)$$

I proud [A]

Volím transformátor výkonu $S_T = 2500$ [kVA].

Výpočet proudu transformátoru na nižší straně napětí

$$I_2 = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_2} \quad (2.2)$$

I_2 proud transformátoru na nižší straně napětí [A]

S_T výkon transformátoru [kVA]

U_2 napětí transformátoru na nižší straně [V]

$$I_2 = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 800} = 1804 \text{ A} \quad (2.3)$$

Transformátor vyhovuje a jeho zatížení bude při plném výkonu všech střídačů 100%. Pokud bych zvolil transformátor s větším výkonem, navýší se nejen investiční náklady ale i provozní náklady spojené se ztrátami transformátoru.

Jmenovitý kmitočet

V našich podmínkách se jedná o 50Hz.

Spojení vinutí

Primární i sekundární vinutí může být zapojené do trojúhelníku, hvězdy nebo lomené hvězdy. Zapojení vinutí se u transformátorů označuje velkým písmenem, které označuje zapojení primárního vinutí, a malým písmenem, které označuje zapojení sekundárního vinutí. V případě, že je vyvedený střed vinutí, je za označením vinutí písmeno n. Za označením sekundárního vinutí je vždy číslo, které vyjadřuje natočení fázoru, napětí primárního vůči sekundárnímu. Úhel natočení fázorů se vyjadřuje podle čísel hodinového ciferníku, proto se označuje jako hodinový úhel.

Volím zapojení Dy1.

Napětí nakrátko

Je napětí, při kterém protéká primárním vinutím jmenovitý proud I_n a sekundární vinutí je nakrátko. Hodnota napětí nakrátko je poměrová hodnota a udává se v procentech. Velikost hodnoty napětí nakrátko svědčí o tom, do jaké míry bude mít velikost výstupního napětí vliv na zatížení transformátoru. U tohoto výkonu transformátoru je běžně $u_k = 6 \%$.

Ztráty způsobené harmonickými

S nárůstem harmonických rostou především ztráty transformátoru ve vinutí. Nárůst ztrát znamená navýšení provozní teploty a tím i zkrácení životnosti transformátoru. Tomu se předchází redukcí jmenovitého výkonového zatížení transformátoru. Pro určení snížení výkonu se používá zatěžovací K-faktor. Ten je vypočítán na základě harmonického spektra.

S výskytem harmonických je třeba při návrhu transformátoru počítat všude tam, kde jsou řízené usměrňovače nebo střídače. V mém případě je transformátor plně zatížen ze střídačů. Harmonické spektrum střídačů:

$$K = 1 + \sum_{h=2}^{h=h_{max}} h^2 I_h^2 \quad (2.4)$$

K K-faktor

h řád harmonické

I_h část celkové efektivní hodnoty proudu na harmonické řádu h

Tab. 1: Podíl harmonických střídače Sungrow SG250HX

h (harmonic number)	I_h (nonlinear load current)
1	100%
3	0,00%
5	11,85%
7	7,20%
9	0,00%
11	4,45%
13	3,75%
15	0,00%
17	2,80%
19	2,45%
21	0,00%
23	2,00%
25	1,80%

Hodnoty harmonických jsem zadal do připravené tabulky v Microsoft Excel. Výsledná vypočítaná hodnota K-faktoru je 2,21. Pokud znám K-faktor mohu specifikovat transformátor s vyšší hodnotou K z normalizované řady 4, 9, 13, 20, 30, 40, 50. V mém případě stačí hodnota K = 4.

[18]

2.2 Návratnost ceny transformátoru s nízkými ztrátami

Pro výpočet návratnosti ceny transformátoru je nutné v první řadě znát provozní náklady. Ty vypočteme ze ztrát transformátoru nakrátko a naprázdno. Ztrátová energie se v transformátoru změní na tepelnou, provozovatel však musí platit i tuto energii. Prvotní investice do transformátoru s nižšími ztrátami je vyšší, po započtení provozních nákladů za určité období se může ukázat, že v konečném důsledku bude levnější.

Pro zjednodušení nemusíme brát v úvahu vývoj ceny elektrické energie, inflace ani cena za instalaci a údržbu. Náklady na provoz transformátoru N_p vypočteme:

$$N_p = T \cdot n \cdot \left((P_o + P_k) \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right) \cdot B \quad (2.5)$$

(Kč; h, kW, kW, %, Kč . kWh-1)

T je počet provozních hodin za rok

n je předpokládaná délka životnosti v letech

P_o jsou ztráty naprázdno [%]

P_k jsou ztráty nakrátko

A je průměrné roční zatížení

B je cena el. energie za 1 kWh

Pomocí vzorce (2.5) vypočteme náklady velice jednoduše a rychle. Výpočet však nezohledňuje snižování hodnoty peněz a zvýšení cen elektrické energie. Navíc, se běžně v ekonomickém vyhodnocení investic nepočítá s celkovou životností, ale s obdobím 5 až 7 let. Pro přesnější výpočet je potřeba započítat i inflaci a předpokládaný nárůst cen elektrické energie.

$$N_p = \sum_{k=1}^n T \cdot \left((P_o + P_k) \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right) \cdot B \cdot \left(\frac{1+d}{1+e} \right)^k \quad (2.6)$$

(Kč; Kč, h, kW, kW, %, Kč . kWh-1, %, %)

N_p jsou provozní náklady [Kč]

n je doba, po kterou počítáme ekonomickou výhodnost v letech

d odhadovaný nárůst ceny energie za vyhodnocované období [%]

e míra inflace [%]

k jsou jednotlivé roky vyhodnocovaného období

U výroby elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů se situace ještě trochu komplikuje tím, že cena nákupu elektrické energie je jiná než výkupní cena. Elektrárna je v provozu během slunečního svitu. Doba slunečního svitu se v ČR pohybuje od cca 1400h do 1700h. My budeme počítat s hodnotou 1500h. Výkon elektrárny kolísá podle intenzity a úhlu dopadu slunečního světla na panely, proto můžeme počítat se zatížením 70%. Během provozu musíme počítat se ztrátami naprázdno i nakrátko za cenu výkupu el. energie. V době, kdy elektrárna nevyrábí el. energii, je transformátor ve stavu naprázdno. Odebíranou ztrátovou energii násobíme cenou pro nákup. Vzorec (2.7) musíme upravit následujícím způsobem:

$$N_p = \sum_{k=1}^n T_s \cdot \left((P_o + P_k) \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right) \cdot B \cdot \left(\frac{1+d/100}{1+e/100} \right)^k + (T - T_s) \cdot P_o \cdot B_0 \cdot \left(\frac{1+d/100}{1+e/100} \right)^k \quad (2.7)$$

(Kč; Kč, h, kW, kW, %, Kč . kWh⁻¹, %, %)

T_s počet hodin slunečního svitu za rok

$$N_T = C + N_P \quad (2.8)$$

(Kč; Kč, Kč)

C je nákupní cena transformátoru [Kč]

N_T jsou provozní náklady transformátoru [Kč]

[19]

Pro porovnání jsem vybral ceny transformátorů výrobce SGB. V době sepisování této diplomové práce je ještě možné prodávat transformátory se sníženými ztrátami dle nařízení komise [9] stupně 1. Současně však výrobci již prodávají i transformátory podle stupně 2. Transformátor DOTELE je v provedení bez omezení ztrát. Toto provedení se běžně prodávalo v EU před 1. červencem 2015. Mimo země EU je možné prodávat transformátory bez omezení ztrát. V současné době je tedy možné určitým způsobem zakoupit a nainstalovat kterýkoliv z transformátorů v tabulce Tab. 2, proto jejich porovnání je na místě.

Pro porovnání návratnosti transformátoru volíme transformátor výkonu 2500kVA.

Tab. 2: Typy transformátorů se ztrátami a cenou

Typ	Ztráty	Po [kW]	Pk [kW]	Cena [Kč]
DOTELE 2500H/20	bez omezení	2,5	26,5	587 000
DOTUL 2500H/20	dle EU č. 548/2014 (od 1. července roku 2015)	1,75	22	710 000
DOTML 2500H/20	dle EU č. 548/2014 (od 1. července roku 2021)	1,75	18,5	832 000

Údaje pro všechny transformátory:

Počet provozních hodin za rok	T	8760 [h]
Předpokládaná délka životnosti	n	25 [let]
Průměrné roční zatížení	A	70 [%]
Cena el. energie	B	3 [Kč . kWh ⁻¹]
Výkupní cena el. energie	B_v	12,5 [Kč . kWh ⁻¹]
Doba, po kterou počítáme ekonomickou výhodnost v letech	n	[rok]
Odhadovaný nárůst ceny energie za vyhodnocované období	d	1 [%]
Míra inflace	e	3 [%]
Průměrná doba slunečního svitu za rok	T_s	1500 [h]

Výkupní cena energie je z roku 2013 podle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2020, ze dne 30. září 2020 – od konce roku 2013 se cena stanovuje smluvně. Podle českého statistického úřadu se míra inflace za posledních 30 let pohybuje okolo této hodnoty.

V tabulce Tab. 3 jsou vypočtené hodnoty provozních nákladů N_p po dobu 25 let podle vzorce (2.7). Z důvodů těžkého odhadu inflace a vývoje ceny elektrické energie jsou tyto výpočty, především v delším horizontu, značně nepřesné. Zajímavé výsledky se však objevují již v prvních čtyřech letech. Například cena ztrátové elektrické energie po ukončení druhého roku provozu transformátoru DOTEL je již vyšší, než jeho pořizovací cena.

Tab. 3: Provozní náklady transformátorů

Roky	DOTEL	DOTUL	DOTML
1	314 657 Kč	251 341 Kč	219 809 Kč
2	623 204 Kč	497 802 Kč	435 350 Kč
3	925 759 Kč	739 477 Kč	646 706 Kč
4	1 222 440 Kč	976 459 Kč	853 958 Kč
5	1 513 360 Kč	1 208 840 Kč	1 057 185 Kč
10	2 885 388 Kč	2 304 787 Kč	2 015 641 Kč
15	4 129 283 Kč	3 298 383 Kč	2 884 587 Kč
20	5 257 011 Kč	4 199 189 Kč	3 672 382 Kč
25	6 279 421 Kč	5 015 869 Kč	4 386 605 Kč

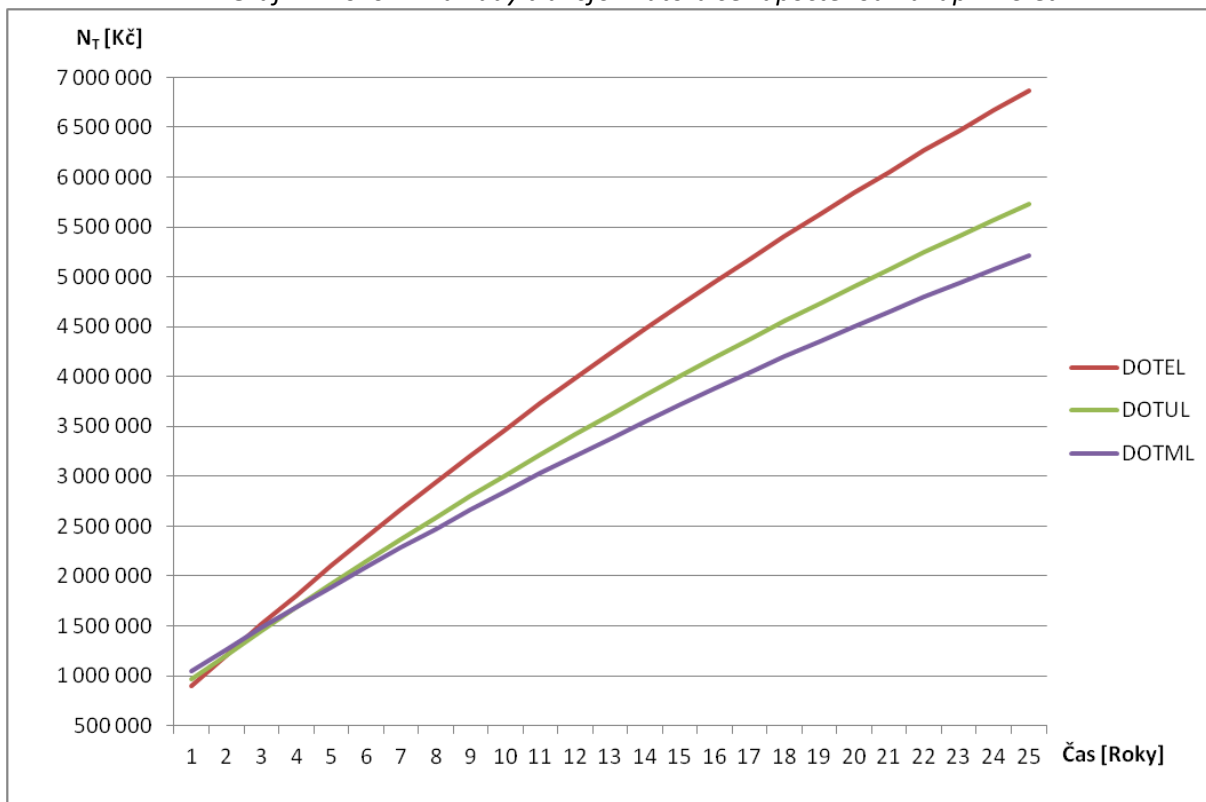
V tabulce Tab. 4 jsou provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní cenou N_T po dobu 25 let podle vzorce (2.8). Podle hodnot je vidět, že po dvou letech se srovnávají náklady na provoz a kupní cena u transformátorů DOTEL a DOTUL. Po čtyřech letech se zase srovnají náklady na DOTUL a DOTML.

Tab. 4: Provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní cenou

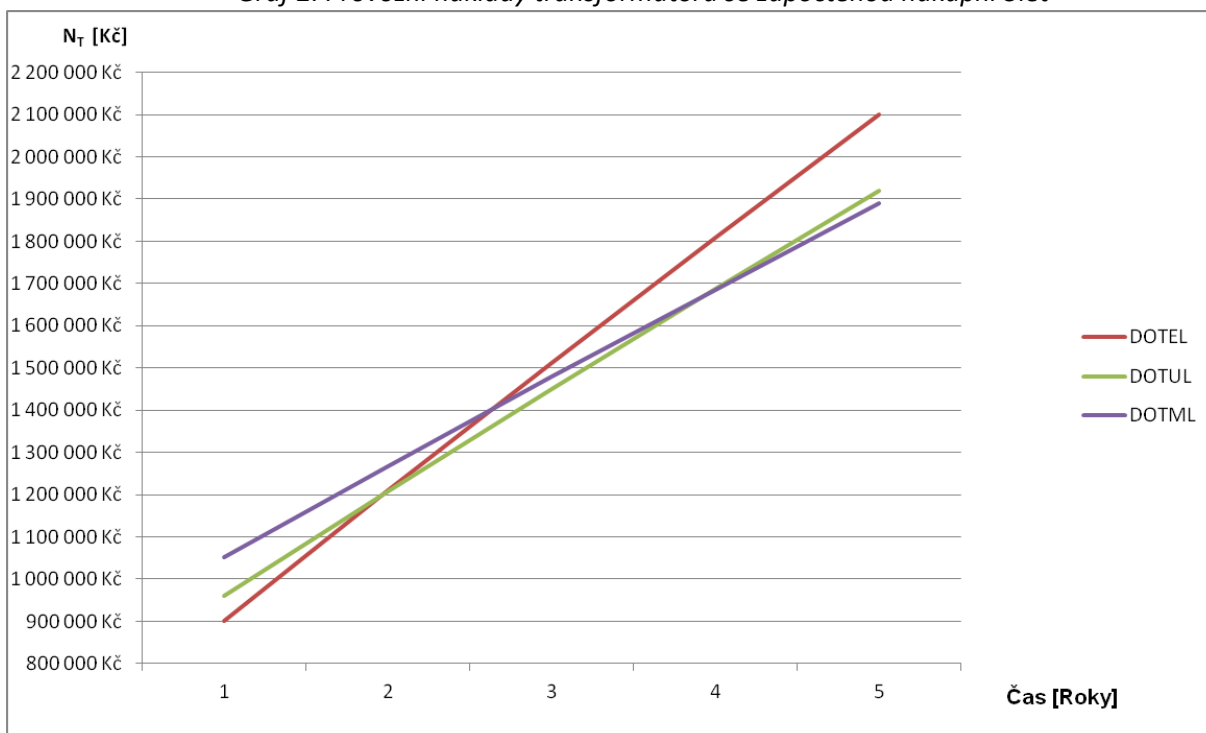
Roky	DOTEL	DOTUL	DOTML
1	901 657 Kč	961 341 Kč	1 051 809 Kč
2	1 210 204 Kč	1 207 802 Kč	1 267 350 Kč
3	1 512 759 Kč	1 449 477 Kč	1 478 706 Kč
4	1 809 440 Kč	1 686 459 Kč	1 685 958 Kč
5	2 100 360 Kč	1 918 840 Kč	1 889 185 Kč
10	3 472 388 Kč	3 014 787 Kč	2 847 641 Kč
15	4 716 283 Kč	4 008 383 Kč	3 716 587 Kč
20	5 844 011 Kč	4 909 189 Kč	4 504 382 Kč
25	6 866 421 Kč	5 725 869 Kč	5 218 605 Kč

Graf 1 zobrazuje vývoj provozních nákladů transformátorů se započtenou nákupní cenou N_T po dobu 25 let podle vzorce (2.8). Na grafu je vidět vliv inflace a nárůstu ceny elektrické energie, kdy vývoj cen není lineární. Graf 2: Provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní 5let zobrazuje stejnou hodnotu v časovém období 5 let. Na tomto grafu je lépe vidět, kdy se křivky protnou. Je třeba si také uvědomit, že aplikace transformátorů ve fotovoltaické elektrárně je specifická krátkou provozní dobou. V případě běžných distribučních transformátorů je určité zatížení téměř neustálé a ztráty nakrátko se projeví v provozních nákladech ve větší míře.

Graf 1: Provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní 25let



Graf 2: Provozní náklady transformátorů se započtenou nákupní 5let



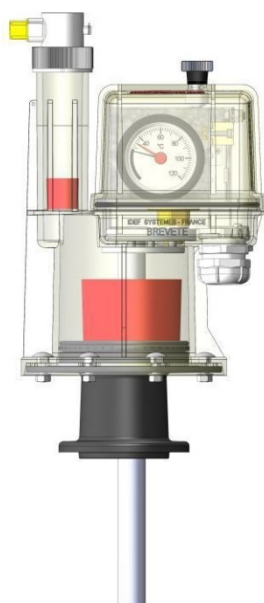
Další možností jak ušetřit na ztrátách transformátoru je odpojení transformovny od distribuční soustavy během nečinnosti elektrárny. Tím by se eliminoval výrazný podíl výdajů za ztráty na prázdnou a. Zároveň by se prodloužila doba návratnosti dražšího transformátoru s nižšími ztrátami.

[20]

Ochrana transformátoru

Proti přetížení a zkratu je transformátor primárně jištěný vývodovým polem VN rozvaděče a hlavním jističem NN rozvaděče. Ty měří proud na primáru a sekundáru transformátoru a při nadproudu jej odpojí od sítě. V případě problému s chlazením nebo úniku oleje z transformátoru však nezareaguje. Proto je velmi vhodné k transformátoru doplnit integrované měřicí a jistící zařízení (označované jako R.I.S. nebo DMCR 3.0). To je instalované na víku transformátoru v příslušné přírubě a je v přímém kontaktu s chladicí kapalinou (olejem) transformátoru. Snímá vývin plynů a kolísání hladiny oleje, tlak a teplotu oleje. Hladina a teplota oleje je možné vizuálně kontrolovat na zařízení. V případě jakéhokoliv překročení tolerancí nad stanovenou mez se přepnou signalizační kontakty. Zapojení signalizačních kontaktů je dále řešeno v kapitole NN rozvaděč.

[21]



Obr. 2.2: Ochranné relé DMCR 3.0

2.3 Návrh jímky transformátoru

Pro případ úniku kapaliny z transformátoru musí být instalovaná záchytná jímka (kontejnment) pod transformátor. Jímka se zřizuje u zařízení plněného více než 1000l kapaliny. Únik běžného oleje z transformátoru by znamenal poškození životního prostředí především v případě, že by olej znečistil toky vod.

Rozměry záchytné jímky musí v půdorysu přesahovat rozměry transformátoru tak, aby případný úkap vždy tekł do jímky. Jímka se zřizuje na plný objem oleje. Výrobce transformátorů uvádí hmotnost oleje v transformátoru. Typickou hustotu použitého transformátorového oleje vyčteme z produktového listu. Objem oleje vypočteme podle vzorce (2.9).

V_o Objem oleje v transformátoru [l]

ρ_o Typická hustota oleje [kg/dm³]

m_o Hmotnost oleje v transformátoru [kg]

$$V_o = \frac{m_o}{\rho_o} \quad (2.9)$$

Typická hustota ρ_o

0,87 [kg/dm³]

Hmotnost oleje v transformátoru m_o

1500 [kg]

$$V_o = \frac{0,87}{1500} \quad (2.10)$$

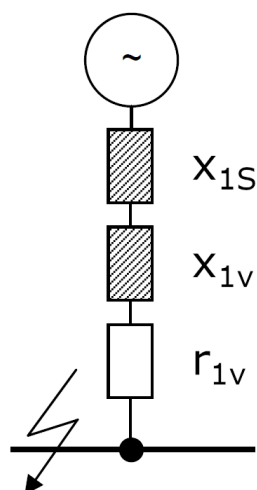
Objem oleje v transformátoru je 1724 l. Minimálně, na tento objem, musí být navržena jímka transformátoru.

[7]

3 Návrh VN a NN rozvaděče

3.1 Výběr VN rozvaděče podle požadovaných parametrů

Před výběrem a konfigurací VN rozvaděče je potřeba znát zkratové poměry v místě jeho instalace. Pro výpočet zkratových proudů si nejdříve vytvoříme náhradní schéma soustavy Obr. 3.1. Výpočty budu provádět v poměrových hodnotách.



Obr. 3.1: Náhradní schéma soustavy

x_{1S} Reaktance nadřazené soustavy

x_{1V} Reaktance vedení VN

r_{1V} Odpor vedení VN

Zkratový výkon soustavy

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_k'' \quad (3.1)$$

S_k Zkratový výkon soustavy při třífázovém zkratu [MVA]

U_S Sdružené napětí nadřazené soustavy [kV]

I_k'' Zkratový proud nadřazené soustavy [kA]

Zkratový proud nadřazené soustavy I_k'' je 5kA.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 5 = 190,5 \text{ MVA} \quad (3.2)$$

Poměrová hodnota reaktance nadřazené soustavy:

$$x_{1S} = \frac{c \cdot S_V}{S_k} \quad (3.3)$$

c Napěťový činitel

S_V Vztažný výkon [MVA]

Napěťový činitel zadáme podle tabulky Tab. 5. Vztažný výkon volíme 100MVA.

Tab. 5: Napěťové činitele podle ČSN EN 60909-0 ed. 2

Zkrat v soustavě	C_{\max}	C_{\min}
Nízké napětí	1,05	0,95
Vysoké napětí	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí	1,10	1,00

$$x_{1S} = \frac{1,1 \cdot 100}{190,5} = 0,5774 \quad (3.4)$$

Výpočet vedení

Poměrová hodnota reaktance vedení:

$$x_{1V} = X_{kv} \cdot l_V \cdot \frac{S_V}{U_S^2} \quad (3.5)$$

X_{kv} Reaktance sousledné složky vedení [Ω]

l_V Délka vedení [m]

Jako přívod je použito vzdušné vedení lanem AlFe 3x70mm² v délce 3 km. Rezistence sousledné složky vedení je 0,43 Ω /km a reaktance je 0,35 Ω /km. Do délky vedení je zahrnut i krátký kabelový propoj mezi vzdušným vedením a rozvaděčem VN.

$$x_{1V} = 0,35 \cdot 3 \cdot \frac{100}{22^2} = 0,2169 \quad (3.6)$$

Poměrová hodnota rezistence vedení:

$$r_{1V} = R_{kv} \cdot l_V \cdot \frac{S_V}{U_S^2} \quad (3.7)$$

R_{kv} Rezistence sousledné složky vedení [Ω]

$$r_{1V} = 0,43 \cdot 3 \cdot \frac{100}{22^2} = 0,2665 \quad (3.8)$$

Celková impedance zkratového obvodu:

$$|z_1| = \sqrt{(r_{1V})^2 + (x_{1S} + x_{1V})^2} \quad (3.9)$$

Z vzorce (3.9) je patrné, že do impedance zahrnujeme jen nadřazenou síť a vedení na straně VN. Zkratový proud bude vypočtený pro zkrat v místě rozvaděče VN. Ten je nutné znát pro výběr rozvaděče VN.

$$|z_1| = \sqrt{0,2665^2 + (0,5774 + 0,2169)^2} = 0,8378 \quad (3.10)$$

Vztažný proud

$$I_V = \frac{S_V}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (3.11)$$

I_V Vztažný proud [kA]

U_V Vztažné napětí [kV]

$$I_V = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 22} = 2,62 \text{ kA} \quad (3.12)$$

Maximální počáteční rázový proud při trojfázovém zkratu

$$I_k'' = \frac{c \cdot I_V}{|z_1|} \quad (3.13)$$

$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot 2,62}{0,8378} = 3,44 \text{ kA} \quad (3.14)$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad (3.15)$$

I_{ke} Ekvivalentní oteplovací proud [kA]

k_e Součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu podle tabulky 5.5 z [22]

$$I_{ke} = 1,01 \cdot 3,44 = 3,47 \text{ kA} \quad (3.16)$$

Nárazový zkratový proud

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (3.17)$$

i_p Nárazový zkratový proud bývá označován také jako I_{ke} [kA]

κ Součinitel nárazového zkratového proudu podle tabulky 5.6 z [22]

$$i_p = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,44 = 7,78 \text{ kA} \quad (3.18)$$

Výběr rozvaděče VN podle zkratových proudů

Zkratová odolnost rozvaděčů VN je vyjádřena hodnotami podle tabulky se jmenovitými řadami zkratových odolností Tab. 6. Při výběru stupně zkratové odolnosti musí platit vztahy (3.19) a (3.20).

Tab. 6: Normalizovaná řada zkratových odolností [22]

Jmenovitý vypínací proud $I_{\text{vyp}}[\text{kA}]$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý krátkodobý proud $I_{\text{ke}}[\text{kA}]$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý dynamický proud $I_{\text{dyn}}[\text{kA}]$	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

$$I_t = I_{\text{vyp}} \geq I_{\text{ke}} \quad (3.19)$$

$$I_{\text{dyn}} \geq i_p \quad (3.20)$$

Po porovnání hodnot je zřejmé, že postačí rozvaděč se jmenovitým vypínacím proudem 6,3 kA, jmenovitým krátkodobým proudem 6,3 kA a jmenovitým dynamickým proudem 16 kA.

[23]

Výpočet propojovacího kabelu na VN straně

Kabel bude sloužit pro propojení VN rozvaděče a transformátoru. Kabel musí být dimenzovaný minimálně na maximální proud transformátoru.

Výpočet proudu transformátoru na vyšší straně napětí

$$I_1 = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_1} \quad (3.21)$$

I_1 proud transformátoru na vyšší straně napětí [A]

S_T výkon transformátoru [kVA]

U_1 napětí transformátoru na vyšší straně [U]

$$I_1 = \frac{2\,500}{\sqrt{3} \cdot 22} = 65,6\text{A} \quad (3.22)$$

Kabel tedy musí být dimenzovaný minimálně na 65,6A. Volíme kabel N2XS 1x16 mm². Menší průřez kabelu není možné použít kvůli minimálnímu průřezu, který dovoluje úhlový konektor. Kabel, podle katalogového listu, má zatížení na vzduchu 130A. Ověření návrhu můžeme provést pomocí tepelných účinků zkratových proudů.

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \leq S \quad (3.23)$$

S Průřez vodiče [mm^2]

S_{\min} Minimální průřez vodiče [mm^2]

I_{ke} Ekvivalentní oteplovací proud [A]

t_k vypínací čas zkratové spouště jističe [s]

Výpočet teplotního koeficientu:

$$k = \sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_1}} \quad (3.24)$$

Materiálové konstanty pro výpočet oteplení vodiče při zkratu

ρ_{20} - specifický odpor při 20°C [Wmm^2/m] 0,01786

c_0 - specifické teplo [$\text{J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$] 3,5

ϑ - fiktivní teplota [$^\circ\text{C}$] 234,5

ϑ_1 – dovolená maximální provozní teplota mědi [$^\circ\text{C}$] 80

ϑ_K – dovolená maximální teplota mědi při zkratu [$^\circ\text{C}$] 300

Maximální dovolené teploty jsou uvedené v tabulce 5.3 v [24].

$$k = \sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5 + 20)}{0,01786} \ln \frac{234,5 + 300}{234,5 + 80}} = 162,636 \quad (3.25)$$

$$S_{\min} = \frac{3470 \cdot \sqrt{0,2}}{162,636} = 9,5 \text{ mm}^2 \quad (3.26)$$

Průřez navrženého vodiče je 16 mm^2 , což je více než $9,5 \text{ mm}^2$. Navržený průřez splňuje podmínky kontroly na tepelné účinky zkratových proudů.

[22]

3.2 Konfigurace VN rozvaděče

Na základě požadovaných parametrů (3.19)(3.20) jsme vybrali VN rozvaděč firmy Schneider, typ RM6. Jedná se o kompaktní rozvaděč kombinující VN funkční jednotky. Sestava rozvaděče se bude skládat ze tří polí, které jsou vyráběné jako typizované skříně. Spínací zařízení a přípojnice jsou umístěny v plynotěsném zapouzdření naplněném SF_6 a těsném po celou dobu životnosti. Součástí polí je i tlakový spínač pro kontrolu tlaku SF_6 .

Tab. 7: Jmenovité hodnoty VN rozvaděče Schneider RM6 [25]

Jmenovité napětí	Kmitočet	Výdržné napětí		Výdržné napětí impulsní		Odolnost proti vnitřním obloukům (1s)
		Izolace	Oddělení	Izolace	Oddělení	
[kV]	[Hz]	[kV]	[kV]	[kV]	[kV]	[kA]
24	50	50	60	125	145	20

Pole č.: 1 - Přívodní pole s typovým označením „I“

Pole je vybavené síťovým odpínačem a uzemňovačem. V kabelovém prostoru jsou průchodky typu C pro připojení úhlových konektorů. Dálkové ovládání: motorový pohon a pomocné kontakty odpínače 2 NO – 2 NC a uzemňovače 1 O/C. Čelní dveře oddílu kabelového připojení jsou odnímatelné s blokadou uzemňovače a odpínače. Součástí pole je i indikátor poruch s autonomním napájením.

Jmenovitý proud přípojníc a odpínače I_r 630 A

Pole č.: 2 - Přívodní pole s typovým označením „Mt“

Pole je vybavené konvenčními transformátory proudu a napětí pro měření spotřeby VN.

Parametry MTP:

- jmenovitý převod: 75/5A
- zatížení/přesnost: 10VA/0,5FS5
- úředně cejchováno

Parametry MTN:

- jmenovitý převod: 22kV/100V/100V
- zatížení/přesnost: 10VA/0,5
- úředně cejchováno

Krátkodobý výdržný proud I_k 20 kA

Obchodní měření vyrobené elektrické energie bude nepřímé, průběhové s dálkovým přenosem údajů-typu A, provedení odběr-dodávka podle vyhl. č. 82/2011 Sb., v platném znění. Pro účely měření bude ve skříni VN instalován rozvaděč, do kterého provozovatel distribuční sítě umístí zařízení pro dálkový přenos signálů a dat na dispečink. Přenos informací zprostředkuje GSM modem.

Pole č.: 3 - Přívodní pole s typovým označením „B“

Pole je vybavené síťovým odpínačem s vypínačem a uzemňovačem. V kabelovém prostoru jsou průchodky typu C pro připojení úhlových konektorů. Dálkové ovládání: motorový pohon, vypínací cívka a pomocné kontakty odpínače 2 NO – 2 NC a uzemňovače 1 O/C. Součástí pole je i ochranné relé Sepam 10, který podporuje dálkové ovládání vypínače prostřednictvím komunikačních rozhraní. Čelní dveře oddílu kabelového připojení jsou odnímatelné s blokadou uzemňovače a odpínače. Součástí pole je i indikátor poruch s autonomním napájením.

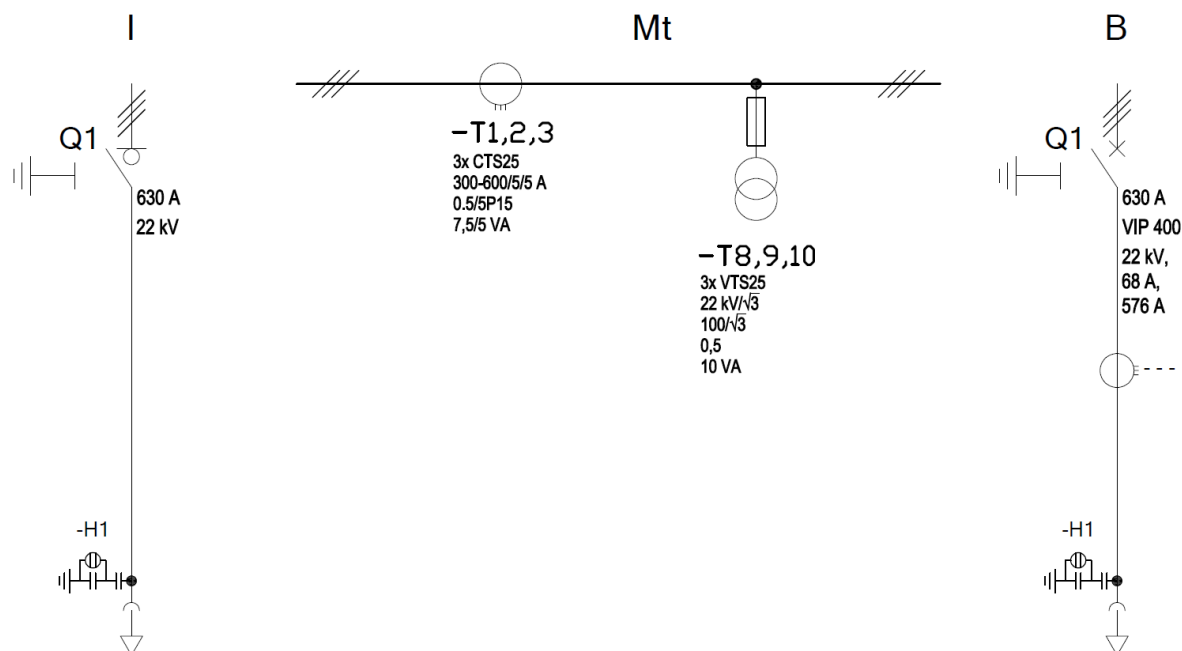
Snímání stavu napětí před vypínačem. Pokud by došlo k výpadku napětí v distribuční síti, dochází k odpojení fotovoltaické elektrárny. Elektrárna se smí připojit po obnovení napětí. Připojení může provést dálkově dispečer, nebo obsluha elektrárny.

Jmenovitý proud přípojníc a vypínače I_r 630 A

Zkratová vypínací schopnost vypínače I_{sc} 20 kA

Zapínací schopnost vypínače I_{ma}
[25]

50 kA



Obr. 3.2: Jednopolové schéma VN rozvaděče

Návrh nastavení ochran

Při připojení a provozu zdrojů elektrické energie platí pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Ty se nacházejí v dokumentu zvaném „Pravidla provozování distribuční soustavy“, dále jen PPDS. Dodržením pravidel PPDS bude zajištěna výroba elektrické energie bez zbytečných výpadků.

Řešená fotovoltaická elektrárna není schopna ostrovního provozu.

Tab. 8: Doporučené hodnoty základního nastavení ochran rozpadového místa [26]

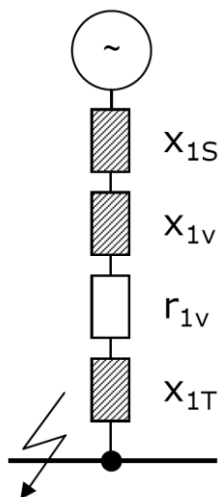
Funkce	Rozsah nastavení	Doporučené nastavení ochrany	
Nadpětí 2. stupeň $U \gg$	1,00 – 1,30 U_n	1,2 U_n	nezpožděně
Nadpětí 1. stupeň $U >$	1,00 – 1,30 U_n	1,15 U_n	≤ 60 s
Podpětí 1. stupeň $U <$	0,10 – 1,00 U_n	0,7 U_n	0 – 2,7 s 1)
Podpětí 2. stupeň $U \ll$	0,10 – 1,00 U_n	0,3 U_n (0,45 U_n)	$\geq 0,15$ s
nadfrekvence $f >$	50 – 52 Hz	51,5 Hz (50,5 Hz)	≤ 100 ms
podfrekvence $f <$	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz	≤ 100 ms
Jalový výkon/ podpětí ($Q \bullet$ & $U <$)	0,70 – 1,00 U_n	0,85 U_n	$t_1 = 0,5$ s

Ostrovní provoz této fotovoltaické elektrárny není možný. Proti případnému ostrovnímu provozu chrání jak střídače, tak ochrana VN rozvaděče. V případě ztráty napětí v DS střídače i ochrana VN odpojí zdroj energie od DS.

[27]

3.3 Návrh rozvaděče NN

Zkratové proudy je důležité řešit předně v blízkosti zdroje, kde jsou tyto proudy vyšší. Na straně NN jsou zkratové proudy vysoké v blízkosti velkých výkonových transformátorů. Pro výpočet zkratových proudů si nejdříve vytvořím náhradní schéma soustavy Obr. 3.3. Výpočty budu provádět v poměrových hodnotách.



Obr. 3.3: Náhradní schéma soustavy

x_{1S} Reaktance nadřazené soustavy

x_{1V} Reaktance vedení VN

r_{1V} Odpor vedení VN

x_{1T} Reaktance transformátoru

Zkratový výkon soustavy

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_k'' \quad (3.27)$$

S_k Zkratový výkon soustavy při třífázovém zkratu [MVA]

U_S Sdružené napětí nadřazené soustavy [kV]

I_k'' Zkratový proud nadřazené soustavy [kA]

Zkratový proud nadřazené soustavy I_k'' je 5kA.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 5 = 190,5 \text{ MVA} \quad (3.28)$$

Výpočet transformátoru

Poměrová hodnota reaktance transformátoru:

$$x_{1T} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_V}{S_T} \quad (3.29)$$

u_k napětí nakrátko S_T Jmenovitý výkon transformátoru [MVA]

$$x_{1T} = \frac{6}{100} \cdot \frac{200}{2,5} = 2,4 \quad (3.30)$$

Celková impedance zkratového obvodu:

$$|z_1| = \sqrt{(r_{1V})^2 + (x_{1S} + x_{1V} + x_{1T})^2} \quad (3.31)$$

Z vzorce (3.31) je patrné, že do impedance zahrnujeme jen nadřazenou síť, vedení na straně VN a transformátor. Do výpočtu není zahrnutý kabel mezi VN rozvaděčem a transformátorem, jehož impedance je zanedbatelná. Zkratový proud bude vypočtený na výstupu z transformátoru. Cílem výpočtu zkratového proudu je mimo jiné ověření průřezu plochých vodičů mezi transformátorem a rozvaděčem NN. Propojení mezi transformátorem a NN rozvaděčem je v délce cca 2m. Tyto vodiče omezí zkratový proud v rozvaděči jen nepatrně.

Poměrová hodnota reaktance nadřazené soustavy je již vypočtena v předchozí kapitole ve vzorci (3.4) a činí 0,5774.

Poměrová hodnota reaktance vedení je již vypočtena v předchozí kapitole ve vzorci (3.6) a činí 0,2169.

Poměrová hodnota rezistence vedení je již vypočtena v předchozí kapitole ve vzorci (3.8) a činí 0,2665.

$$|z_1| = \sqrt{0,2665^2 + (0,5774 + 0,2169 + 2,4)^2} = 3,205 \quad (3.32)$$

Vztažný proud

$$I_V = \frac{S_V}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (3.33)$$

 U_V Vztažné napětí [kV]

$$I_V = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,8} = 72,17 \text{ kA} \quad (3.34)$$

Maximální počáteční rázový proud při trojfázovém zkratu

$$I_k'' = \frac{c \cdot I_V}{|z_1|} \quad (3.35)$$

$$I_k'' = \frac{1,05 \cdot 72,17}{3,205} = 23,64 \text{ kA} \quad (3.36)$$

Přístroje, které jsou v hlavních obvodech rozvaděče, musí vydržet případný zkratový proud. Výrobce přístrojů musí ověřit jejich odolnost při průchodu zkratových proudů. U jističů se udává hodnota I_{cu} - jmenovitá zkratová vypínací schopnost jističe. U pojistky bývá označována jako I_{cn} . Vždy musí platit rovnice (3.37).

$$I_{cu} \geq I_k'' \quad (3.37)$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad (3.38)$$

I_{ke} Ekvivalentní oteplovací proud [kA]

k_e Součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu podle tabulky 5.5 z [22]

$$I_{ke} = 1,05 \cdot 23,64 = 24,83 \text{ kA} \quad (3.39)$$

[23] [22]

Výpočet přípojníc na NN straně

Přípojnice budou sloužit na propojení transformátoru a NN rozvaděče a také pro napojení odpínačů. Musí být dimenzované alespoň na maximální proud všech střídačů 1805 A vypočtený v (2.1). Z tabulky „Jmenovitý proud I_{nv} holých medených plochých vodičů“ [22]

volíme dvojnásobný vodorovně uložený nenatřený měděný vodič 80x10mm, který je zatížitelný proudem 2 296 A. Ověření návrhu můžeme provést pomocí tepelných účinků zkratových proudů.

Teplotní koeficient k pro měď je již vypočtený v předchozí kapitole ve vzorci (3.25) a činí 162,636.

Minimální průřez vodiče S_{min} spočítáme podle vzorce (3.23).

$$S_{min} = \frac{24830 \cdot \sqrt{0,1}}{162,636} = 48,3 \text{ mm}^2 \quad (3.40)$$

Průřez navrženého vodiče je 1600 mm², což je více než 48,3 mm². Navržený průřez splňuje podmínky kontroly na tepelné účinky zkratových proudů.

[22]

Návrh hlavních obvodů

Jako hlavní jističí prvek NN rozvaděče jsem vybral vzduchový jistič Arion WL1120-3CB36-1AA2 s nadproudovou spouští ETU25B od firmy OEZ. Jistič je ve výsuvném provedení, je vybavený pomocnými spínači 2x NO a 2x NC.

Jmenovité pracovní napětí U_e 1000 V

Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost I_{cu} 66 kA

Pro jištění přívodů ze střídačů jsou použité lištové pojistkové odpínače SL3-3X3/9 od firmy Jean Müller. Odpínače jsou konstruované pro rozteč přípojníc 185mm.

Jmenovité pracovní napětí U_e	800 V
Jmenovitý pracovní proud I_e	630 A

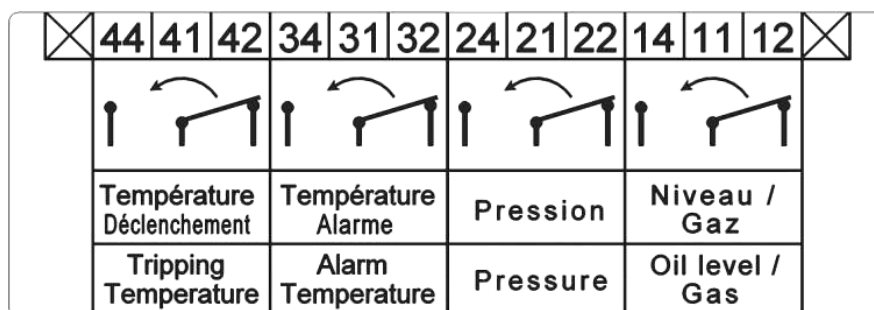
Pro jištění střídačů Sungrow SG250HX výrobce doporučuje pojistky 315A s charakteristikou Gg. Pojistkami budou přívody od střídačů jištěny proti zkratu. Jištění proti přetížení je součástí střídače. Střídače jsou vybaveny antiostrovnní funkcí, takže v případě, že v distribuční soustavě není napětí, odpojí výstup a nedodávají energii.

[28] [29] [17]

Návrh zapojení ochrany transformátoru

Pro ochranu transformátoru je na jeho víku nainstalované integrované měřicí a jistící zařízení DMCR 3.0 od firmy IDEF Systems. To snímá vývin plynů a kolísání hladiny oleje, tlak a teplotu oleje. V případě jakéhokoliv překročení tolerancí nad stanovenou mez se přepnou signalizační kontakty. Svorky DMCR 3.0 jsou propojeny pomocí vícežilového kabelu JYTY se svorkovnicí X2 v NN rozvaděči. Tři kontakty, teplota vypnutí (tripping temperature), přetlak (pressure) a hladina oleje (oil level) jsou napojeny na relé (KA1, KA2, KA3) a ty spínají vypínací cívku vypínače ve VN rozvaděči. Všechny kontakty jsou navíc napojeny na převodník Expert EX9053D, který disponuje 16 binárními vstupy a výstupní sběrnici RS485. Provozovatel transformovny si tak může tyto informace zobrazit dle své libosti.

[21]



Obr. 3.4: Kontakty ochranného relé

4 Návrh dispozičního řešení a uzemnění blokové transformovny

4.1 Dispoziční řešení

Konstrukce transformovny je oceloplechová, je 4350mm dlouhá, 2166mm široká a v nejvyšším bodě je 2300mm vysoká. Celková hmotnost transformovny je cca 7554kg. Základna je vyrobená z ocelových profilů U. Uložení Transformovny v terénu se provádí na předem připravené betonové patky. Na základně jsou závěsná oka pro zvedání celé transformovny. Uprostřed základny je umístěný transformátor. Jeho nosníky jsou položeny na připravené nosníky základny ve stejné rozteči. Mezi nosníky základny a transformátoru jsou pryžové pláty pro omezení přenosu vibrací. Pod transformátorem je zachytná jímka. Na výpustném ventilu jímky je instalována filtrační souprava FILTRELEC F5, která umožňuje průtok dešťové vody, ale zadrží i případný olej.



Obr. 4.1: Detail jímky, napojení na Filtrelec F5 a uložení transformátoru

Skříně rozvaděčů jsou z plechů s metalickou povrchovou úpravou, označovanou jako Aluzinek. Celá konstrukce je ještě dodatečně lakovaná. Krytí skříní je IP23, při otevřených dveřích NN rozvaděče je krytí IP20. Odolnost proti mechanickým rázům je IK10. Dveře skříní jsou uzamykatelné. Ve dveřích skříně NN rozvaděče jsou přídatné dvířka pro rychlý přístup k servisním zásuvkám.

Stupeň krytí VN rozvaděče:

- Tank s VN komponenty: IP67
- Oddíl nízkého napětí: IP3X
- Čelní panel + mechanismus: IP3X

- Kabelový oddíl: IP2XC
- Ochrana proti mechanickým rázům: IK07.



Obr. 4.2: Transformovna během instalace

Ve dně skříní jsou pro přívodní kabely připravené kabelové průchodky. Kabeláž musí být k transformovně přivedená v zemi, ve výkopu. Kabelový propoj z VN rozvaděče k transformátoru je vedený přes kabelové průchodky ve dně skříně rozvaděče, stáčí se do meziprostoru mezi transformátorem a VN rozvaděčem, kde je uchycený příchýtkami k VN rozvaděči. Při návrhu konstrukce transformovny musí být brán zřetel na omezený poloměr ohybu kabelu. Mezi NN rozvaděčem a transformátorem je vodivé propojení z plochých měděných vodičů. V tomto prostoru je mezi vodiče vložena flexibilní část takzvaný flexibar. Vodiče jsou kryté oplechováním kvůli nebezpečí dotyku živých částí. Prostor mezi plochými vodiči a oplechováním je v několika místech vymezený podpěrnými izolátory.

Stanoviště transformátoru musí být konstruované tak, aby jeho požár neohrozil další transformátory nebo zařízení, které není přímo spojené se stanovištěm transformátoru.

[4]

4.2 Uzemnění

Ve výkopu okolo základových patek transformovny bude uložený zemnicí páskový vodič FeZn 30x4. Ten bude tvořit ekvipotenciální okruh okolo transformovny. Pro spojení transformovny se zemnicím vodičem bude použit také páskový vodič FeZn 30x4.

Návrh uzemnění v konstrukčním výkresu je informativní. V rámci tvorby dokumentace pro provedení stavby DPS je potřeba udělat výpočet. Během výpočtu se běžně počítá s hodnotou měrného odporu půdy $\rho_E = 100 \Omega \cdot m$. Vždy je ale třeba přihlídnout ke složení půdy v místě instalace. Zemní odpor nesmí překročit hodnotu 5Ω . Tato hodnota se zjišťuje měřením. V případě že zemnicí soustava nevyhoví při měření, je nutné jí doplnit o další prvky, nejčastěji zemnicí tyče.

Postup výpočtu podle [27]:

Ekvivalentní průměr obdélníkového zemniče:

	$D_{ekv} = \frac{2 \cdot (a + b)}{\pi}$	(4.1)
--	---	-------

D_{ekv} Ekvivalentní průměr obdélníkového zemniče [m]

a strana A vodiče [m]

b strana B vodiče [m]

Zemní odpor kruhového zemniče (zemní pásek po obvodu stavby):

	$R_O = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ekv}} \cdot \left(\ln \frac{8 \cdot D_{ekv}}{d} + \ln \frac{\pi \cdot D_{ekv}}{2 \cdot z} \right)$	(4.2)
--	---	-------

R_O Zemní odpor kruhového zemniče [Ω]

ρ_E Rezistivita půdy [Ωm]

d Polovina šířky páskového zemniče [m]

Zemní odpor paprskového zemniče (tyčového):

	$R_t = \frac{\rho_E}{(2 \cdot \pi \cdot L)} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L}{D} \right)$	(4.3)
--	---	-------

R_t Zemní odpor paprskového zemniče [Ω]

L Délka paprsku nebo tyče [m]

D Průměr tyčového zemniče [m]

Výsledný zemní odpor soustavy:

	$R_E = \frac{1}{\frac{\eta_{pn} \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_O}} \cdot \frac{1}{\eta_{ot}}$	(4.4)
--	---	-------

R_E Výsledný zemní odpor soustavy [Ω]

n Počet paprsků

η_{pn} Koeficient využití paprsků

η Koeficient využití kombinace zemniců

Přípojky ochranného a pracovního uzemnění všech elektrických předmětů, jakož i ochranné vodiče určené pro ochranu pospojováním, případně pro ochranu uvedením na stejný potenciál včetně jednotlivých strojených či náhodných zemničů tvořících uzemňovací soustavu, musí být provedeny v souladu s normou ČSN 332000-5-54 ed.3. Současně musí být splněna podmínka dostatečné mechanické pevnosti a odolnosti proti korozi. Označení vodičů zemnicí soustavy, případně uzemňovacích pásků nad povrchem, včetně míst připojení na kovové předměty, bude provedeno trvanlivě barvou žl/zel.

Samotná ocelová konstrukce je schopná zajistit vhodnou proudovou dráhu blesku, proto není nutné instalovat jímací tyče.

[26] [4]

5 Projektová dokumentace blokové transformovny

Jako podklad pro projektovou dokumentaci jsem použil katalogové listy všech použitých součástí a technické normy. Jeden ze základních podkladů při tvorbě projektové dokumentace pro provedení stavby je vždy protokol o určení vnějších vlivů. Ten se vypracovává ve chvíli, kdy jsou známe informace o stavbě a o prostředí, do kterého bude zasazena. Řešená transformovna je navržena pro obvyklé prostředí, ve kterém se nachází. Tím je venkovní prostor, obvyklý rozsah teplot, nadmořská výška do 1000m nad mořem a tak dále. Obvyklé požadavky na krytí jsou například i v technických normách. Takto je možné navrhnout transformovnu, která vyhoví většině instalací. Pokud se při tvorbě protokolu o určení vnějších vlivů zjistí, že transformovna nevyhoví, je nutné provést patřičné úpravy.

Podobné je to i s požárně bezpečnostním řešením stavby (PBŘ), které zpracovává projektant zabývající se požární bezpečností. Pro transformovnu je zpracované PBŘ, které posuzuje vliv transformovny na okolí a stanovuje nejmenší možné odstupové vzdálenosti od ostatních staveb. V případě, že je transformovna umístěná v blízkosti jiných staveb, které s ní přímo nesouvisí, je potřeba doplnit PBŘ o posouzení z pohledu ostatních staveb.

Veškeré výše popsané náležitosti musí být dořešeny při tvorbě dokumentace pro územní rozhodnutí (DUR) stavební povolení (DSP) a dokumentace pro provedení stavby (DPS).

Přiložená dokumentace je dokumentací výrobní. Tato dokumentace slouží především pro výrobu blokové transformovny. Při přípravě dokumentace již musíme mít informace o výkonu fotovoltaické elektrárny a o místě připojení na distribuční soustavu pro vhodné dimenzování transformovny. Tímto se výrobní dokumentace přibližuje dokumentaci pro provedení stavby, ve které by muselo být navíc řešeno umístění a napojení transformovny. Napojení distribuční soustavy na transformovnu, zařízení pro přenos informací z měření a propojení řídicího systému s dispečinkem provozovatele DS, zařizuje provozovatel DS. Provozovatel DS si zpracuje projektovou dokumentaci a projekt realizuje nejčastěji prostřednictvím smluvních organizací.

Výrobní dokumentace poslouží i jako podklad při tvorbě dokumentací pro povolování stavby, výběr dodavatele nebo provedení stavby. Měla by být také součástí dokumentace DSPS pro potřeby údržby a v konečném důsledku i demontáže a likvidace zařízení.

[5]

Technická zpráva

Obsahuje základní informace o transformovně především z pohledu bezpečnosti instalace a používání.

Dokument jsem zpracoval v programu Microsoft Word. Technická zpráva je v příloze.

Specifikace materiálu

Ve specifikaci materiálu jsou podrobně rozepsané položky pro sestavení transformovny. Slouží především pro nacenění při výběrovém řízení. Výrobci jednotlivých částí si zpravidla ještě zpracují podrobný kusovník.

Dokument jsem zpracoval v programu Microsoft Excel. Specifikace materiálu je v příloze.

Jednopolové schéma blokové transformovny

Jednopolové schéma slouží pro přehledové zobrazení obvodů. Symboly jsou zjednodušené a jejich napojení není provedené na úplný počet kabelových spojů, ale zobrazuje se vždy jeden. Zobrazuje jen hlavní napájecí obvody. Strana je rozdělená do přehledných celků tak, aby bylo patrné, které prvky jsou součástí VN rozvaděče, transformátoru a NN rozvaděče.

Dokumentaci jsem zpracoval v programu AutoCAD 2021. Jednopolové schéma je v příloze.

Schéma zapojení NN rozvaděče

Vícepolové schéma zapojení rozvaděče NN obsahuje jak hlavní napájecí obvody, tak pomocné. Na první straně jsou hlavní napájecí obvody. Veškeré propojení hlavních napájecích obvodů je provedeno pomocí měděných plochých vodičů 2x 80x10 Cu. Transformátor TR1 je nutný pro převod z napěťové hladiny 800V na 400V a ze sítě IT na TNS. Jelikož je soustava 800V síť IT, je potřeba hlídač izolačního stavu. Ten už vidíme na straně č. 2. Tlumivka řady TL 1000 označená jako XS2 slouží k přizpůsobení vstupních obvodů hlídačů izolačního stavu k třífázové IT síti. Hlídač izolačního stavu při varovné hodnotě izolačního odporu pošle signál do převodníku Expert EX9053D, při kritické hodnotě již vybaví VN vypínač. Na druhé straně dokumentace je dále vidět UPS, komunikační kartu záložního zdroje (UPS), servisní zásuvky a další vývody podle přání zákazníka. Na straně č. 3 je vidět zapojení ochranného relé transformátoru, signalizaci stavu hlavního jističe a VN rozvaděče. Některé signály jsou pomocí odkazů propojené na převodníku Expert EX9053D. Na straně č. 4 je signálový diagram převodníku Expert EX9053D,

Dokumentaci jsem zpracoval v programu AutoCAD 2021. Schéma zapojení NN rozvaděče je v příloze.

Konstrukční výkres blokové transformovny

Konstrukční výkresy zpracovává subdodavatel. Jsou přiložené pro celistvost dokumentace. Konstrukční výkres je v příloze.

Závěr

V diplomové práci jsem popsal návrh blokové transformovny fotovoltaickou elektrárnu s maximálním výkonem 2500kVA. Pro převod napětí z hodnoty 800 V na 22 kV jsem navrhl olejový hermetizovaný transformátor s výkonem 2500kVA. Při srovnání nákladů na provoz jsem spočítal, že přesto, že je transformátor vyrobený podle posledních požadavků na ecodesign nejdražší z porovnávaných. Při započítání provozních nákladů je však z dlouhodobého hlediska nejlevnější. Tento výpočet jednoznačně využiji při přesvědčování investorů k instalaci transformátoru s nižšími ztrátami.

Dále jsem vypočítal zkratové proudy na VN straně. Na základě hodnot zkratových proudů jsem mohl navrhnout VN rozvaděč a navrhnout, a výpočtem ověřit, kabelový propoj mezi VN rozvaděčem a transformátorem. Podobně jsem vypočítal i zkratové poměry na NN straně. Na základě těchto hodnot jsem mohl stanovit kritéria pro výběr přístrojů a zkratovou odolnost NN rozvaděče. Navrhl jsem průřez přípojníc a ověřil jsem výpočtem správnost návrhu.

Vytvořil jsem dokumentaci blokové transformovny pro zadání výroby. Dokumentace může být dále využita pro údržbu, ale zároveň může být rozšířena a sloužit jako podklad pro stavbu celé fotovoltaické elektrárny.

Použitá literatura

1. ČSN EN 62271-202 *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 202: Blokové transformovny vn/nn.*
2. **Fencel, F.** *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02771-6.
3. ČSN EN 60529 *Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód).*
4. ČSN EN 61936-1 *Elektrické instalace nad AC 1 kV - Část 1: Všeobecná pravidla .*
5. Ministerstvo pro místní rozvoj. *Vyhláška č. 499/2006 Sb.* [Online]
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499>.
6. ČSN EN 60076 - *Výkonové transformátory - Soubor norem.*
7. **Elpro-Energo.** *Olejové transformátory.* [Online] <https://www.elpro-energo.cz/olejove-transformatory/olej/>.
8. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/125/ES ze dne 21. října 2009 o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie. [Online]
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=DE>.
9. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 548/2014 ze dne 21. května 2014 kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o malé, střední a velké výkonové transformátory. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0548&from=EN>.
10. ČSN EN 62271-200 ed. 2 - *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 200: Kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV včetně.*
11. NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 517/2014 ze dne 16. dubna 2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení (ES) č. 842/2006. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=EN>.
12. ČSN EN 61439-1 ed. 2 *Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení.*
13. ČSN 33 0166 ed. 2 - *Označování žil kabelů a ohebných šňůr.*
14. **Santarius, P.** *Elektrické stanice a vedení.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1990. ISBN 80-7078-032-0.
15. ČSN EN 61643-11 ed. 2 - *Ochrany před přepětím nízkého napětí - Část 11: Ochrany před přepětím zapojené v sítích nízkého napětí - Požadavky a zkušební metody.*
16. ČSN EN 62271-1 ed. 2 *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 1: Společná ustanovení pro spínací a řídicí zařízení střídavého proudu.*
17. **Sungrow.** *Katalog SG250HX.* [Online]
https://en.sungrowpower.com/upload/file/20210108/DS_20201121_SG250HX%20Datasheet_V1.5.4_EN.pdf.pdf.
18. **J. Desmet, L. Lemcko.** *Kvalita elektrické energie-průvodce.* [Online] 2021.
<https://docplayer.cz/10883255-Kvalita-elektricke-energie-pruvodce.html>.
19. **Ing. František Žák, Ph.D.** *Ztráty transformátorů a jak se ztrátami pracovat.* [Online] 23. červenec 2020. <https://allforpower.cz/rozvody-energie/ztraty-transformatoru-a-jak-se-ztratami-pracovat-200>.

20. **Hron, Jakub.** Diplomová práce. *Ekonomika provozu a výměny transformátorů*. [Online] 2016.
https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64831/F3-DP-2016-Hron-Jakub-Ekonomika_provozu_a_vymeny_transformatoru.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
21. **SYSTEMES, IDEF.** Protection relay DMCR. [Online] <http://www.ideosystemes.com/the-dmcr-a-complete-safety-solution>.
22. **Orságová, J.** *Rozvodná zařízení*.
23. **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec.** *Ochrany a automatiky v rozvodu (OAR) - Základní vztahy pro výpočet zkratových proudů v poměrových hodnotách*.
24. **ČSN 33 2000-4-43 ed. 2** *Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 43 – Ochrana proti*.
25. **Schneider.** *Katalog RM6*. [Online] <https://www.se.com/cz/cs/download/document/S1301/>.
26. **ČEZ Distribuce, a.s.** *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV*. [Online]
https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds_2016.pdf.
27. **PNE 33-0000-4, třetí vydání.** [Online] <http://www.mojeenergie.cz/cz/pne-33-0000-4>.
28. **OEZ.** Vzduchové jističe Arion. [Online]
https://www.oez.cz/files/editor_source/Dokumenty/Katalogy/Vzduchove%20jistice%20Arion/oez_ar02_2017_cz.pdf.
29. **Müller, Jean.** Katalog NH strip-type fuse-switch-disconnectors. [Online]
[https://www.jeanmueller.de/produkte/jean/en_GB/L8/NH-Sicherungslastschaltleiste%20SL3-3x3-9-RM300-800V/\\$catalogue/jeanData/PR/L3099118/additionalInfos/index.xhtml;jsessionid=CA32AD0653A00B946D89BE4596D31026#product_tabs](https://www.jeanmueller.de/produkte/jean/en_GB/L8/NH-Sicherungslastschaltleiste%20SL3-3x3-9-RM300-800V/$catalogue/jeanData/PR/L3099118/additionalInfos/index.xhtml;jsessionid=CA32AD0653A00B946D89BE4596D31026#product_tabs).

Seznam příloh

1. Technická zpráva
2. Specifikace materiálu
3. Jednopolové schéma blokové transformovny
4. Schéma zapojení NN rozvaděče
5. Konstrukční výkres blokové transformovny